GUIDE DE RECOMMANDATION
pour lutter contre l'EFFET D'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN
à destination des collectivités territoriales

Octobre 2012

CONTENU

Introduction **4**

1. Le Plan Régional pour le Climat 4
2. Le réseau d'adaptation 4
3. Un guide à destination des collectivités territoriales 4

Causes et impacts **5**

1. L'effet d'îlot de chaleur urbain : Un phénomène physique 5
2. Causes 7
3. Impacts 9

Mode d'emploi des Fiches de recommandation **12**

Approche globale **13**

A. Santé et Qualité de l'air **14**

ENJEUX 14

1. ACCOMPAGNEMENT ET SENSIBILISATION 15
2. VEGETATION ET RAFRAICHISSEMENT 16
3. SENSIBILISATION ET PERSONNES A RISQUE 17

B. Ventilation naturelle des espaces extérieurs **18**

ENJEUX 18

1. DONNEES METEOROLOGIQUES 19
2. ETUDES AERAULIQUES 20
3. VENTILATION NATURELLE DES BÂTIMENTS 21

C. Végétalisation et fraîcheur des espaces urbains **22**

ENJEUX 22

1. VEGETALISATION DU TERRITOIRE 23
2. AIRES DE RAFRAICHISSEMENT ET MAILS PLANTES 24
3. PROTECTION ET VEGETALISATION DES FACADES 25

D. Perméabilité et gestion alternative des eaux pluviales **26**

ENJEUX 26

1. CYCLE NATUREL DE L'EAU (1/2) 27
1. CYCLE NATUREL DE L'EAU (2/2) 28
2. RAFRAICHISSEMENT 29
3. PERMEABILITE ET COEFFICIENT DE RUISSELEMENT 30

4. TECHNIQUES ALTERNATIVES 31
5. INFILTRATION IN SITU 32

E. Matériaux et infrastructures 33

ENJEUX 33
1. ALBEDO ET EMISSIVITE 34
2. SURFACES CLAIRES 35
3. REVÊTEMENTS PERMEABLES 36
4. ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE 37
5. COOLROOF 38

F. Dégagements anthropiques 39

ENJEUX 339
1. DIMINUTION DU PARC AUTOMOBILE 40
2. MIXITE ET MUTUALISATION 41
3. REDUCTION DES APPORTS INTERNES DE CHALEUR 42

Retours d'expérience 43
1. Balades thermiques à Grenoble 43
2. Programme PIRVE à Toulouse 44
3. Plan Climat - Le projet AMICA du Grand Lyon 44
4. Ecoquartiers 45

Annexes 49
1. Coefficient d'absorption et albédo des matériaux 49
2. Coefficients de ruissellement (*Source : HQE*) 51

Sources 52

Remerciements 55

PROGRAMME D'ETUDE DETAILLE ET HIERARCHISE ..... ADDENDUM

INTRODUCTION

1. Le Plan Régional pour le Climat

Le Plan Régional pour le Climat, adopté le 24 juin 2011, comporte un volet adaptation au changement climatique et définit des champs prioritaires d'actions autour de l'amélioration de la connaissance et de son partage, de la lutte contre les îlots de chaleur urbains, des enjeux de l'eau, des risques sanitaires et de la biodiversité.

Le Plan Régional pour le Climat prévoit la réalisation de deux études : une étude de préfiguration d'un réseau d'observation en accompagnant la production d'un document sur l'effet d'îlot de chaleur urbain et une étude permettant la caractérisation des enjeux économiques de l'adaptation pour l'Île-de-France. La Région Île-de-France et l'ADEME Île-de-France ont souhaité réaliser ces études dans le cadre du partenariat qui les lie visant à améliorer la connaissance des impacts du changement climatique sur le territoire francilien.

Ces études devront plus largement s'inscrire en cohérence avec l'élaboration de Plans Climat-Energie Territoriaux pour lesquels l'ADEME et la Région se sont engagés, la réalisation du Schéma Régional Climat, Air, Energie (SRCAE) piloté par la Région et l'Etat, et le Plan National d'Adaptation (PNA) au Changement Climatique.

Enfin, ces études s'inscrivent dans le cadre du programme européen Interreg 4B intitulé « C-Change » dans lequel la Région est partenaire. Ce programme réunit 7 partenaires européens notamment sur le rôle des espaces ouverts et de la planification en matière d'adaptation au changement climatique.

2. Le réseau d'adaptation

Le présent guide s'inscrit en parallèle de la réalisation de l'étude de préfiguration d'un réseau d'observation sur l'adaptation au changement climatique. Ce réseau d'observation aura pour principale mission de mettre à disposition des acteurs franciliens, des usagers et du public des informations sur la vulnérabilité de leur territoire aux impacts du changement climatique et sur les moyens de s'y adapter. Il devra rassembler et synthétiser l'information, identifier les besoins en matière d'observation du changement climatique, des vulnérabilités, des risques et des actions d'adaptation en lien avec le Club Climat d'Île-de-France et le SRCAE.

Le Guide de recommandations pour lutter contre l'Effet d'Îlot de Chaleur Urbain préfigure les outils opérationnels qui pourront être produit par le biais du réseau d'observation sur l'adaptation au changement climatique.

3. Un guide à destination des collectivités territoriales

Le présent guide, à destination des collectivités locales et aménageurs, fait l'inventaire des mesures disponibles et recommandées pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain. Il est élaboré sur la base des connaissances actuelles et a vocation à être approfondi grâce à un programme d'études et de recherches complémentaires sur le territoire qui permettront d'améliorer la connaissance et la prise de décision dans ce domaine.

CAUSES ET IMPACTS

Ce chapitre est une synthèse de deux études menées par l'IAU-Idf et INSP du Québec. Il ne prétend pas faire un état exhaustif des causes et impacts de l'Effet d'Îlot de Chaleur Urbain. Pour un état détaillé, les études dont il s'inspire pourront être consultées :

- ***Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains** – INSP du Québec – Juillet 2009*
- ***Les îlots de chaleur urbains - Répertoire de fiches connaissance** – IAU-IdF – Novembre 2010*

1. L'effet d'îlot de chaleur urbain : Un phénomène physique

L'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU) est un phénomène physique climatique peu connu en comparaison à d'autres manifestations du même ordre comme notamment l'effet de serre responsable du changement climatique.

Il est pourtant, à l'échelle urbaine, tout aussi important, d'autant plus que l'effet de serre en tant que moteur du changement climatique renforce l'effet d'îlot de chaleur. Ce dernier est engendré par la ville, sa morphologie, ses matériaux, ses conditions naturelles, climatiques et météorologiques, ses activités…. Réciproquement, il influence le climat de la ville (températures, précipitations), les taux et la répartition des polluants, le confort des citadins, les éléments naturels des villes…

Définition

L'expression « îlots de chaleur urbains » désigne la différence de température observée entre les milieux urbains et les zones rurales environnantes. En effet, des observations ont démontré que les températures des centres urbains sont en moyenne supérieur de 4°C et peuvent atteindre jusqu'à 12 °C de plus que les régions limitrophes [Figure 1].

L'îlot de chaleur urbain est en premier lieu un phénomène physique. Se caractérisant par des différences de températures, il est la conséquence des apports de chaleur naturels et anthropiques et des conditions climatiques et météorologiques des espaces où il apparaît.

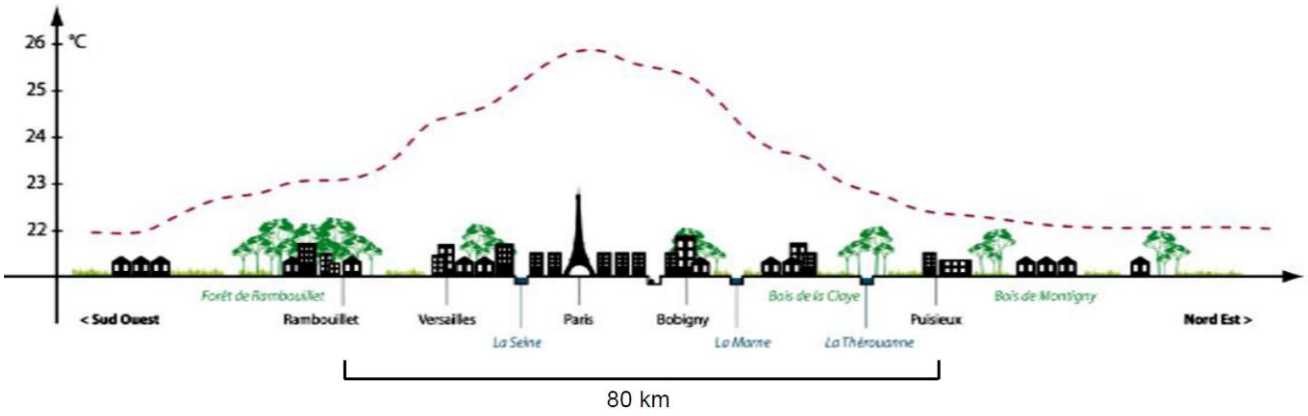


Figure 1 - Schéma de l'effet d'îlot de chaleur urbain (Source Descartes, 2009)

L'intensité des îlots de chaleur change sur une base quotidienne et saisonnière en fonction des différents paramètres météorologiques et anthropiques. En général, l'intensité des îlots de chaleur de la canopée urbaine est plus forte la nuit que le jour.

L'ICU se manifeste par des différences parfois très importantes entre le centre chaud et la périphérie plus froide, particulièrement lors des *minima* de température en fin de nuit. L'augmentation des températures ne se trouve pas seulement sur la couche la plus basse de l'atmosphère en contact direct avec la ville. On observe également un dôme de chaleur en altitude. De plus, ce dôme est irrégulier, on peut ainsi, à une même altitude, observer des différences de températures importantes.

Particularité francilienne

Les causes des Îlots de Chaleur Urbains sont présentes depuis longtemps en région parisienne :

- La densité de population au centre de Paris a baissé par rapport à la situation des siècles précédents, mais reste toujours très forte par rapport à d'autres grandes métropoles, d'autant plus que la densité bâtie du tissu haussmannien est l'une des plus élevées.
- Si l'étalement urbain de la deuxième moitié du XX^{e} siècle a fait baisser la densité bâtie, il a d'une part favorisé le développement de l'utilisation de la voiture individuelle, émettrice de CO2, gaz à effet de serre (GES), et de chaleur et d'autre part entraîné la perte d'une grande partie des espaces naturels qui permettent de rafraîchir l'atmosphère.
- Enfin, si aujourd'hui le mot d'ordre est à la densification urbaine pour préserver les espaces ruraux et réduire l'utilisation des transports, ce retour fait resurgir la question de la concentration des activités et des habitations qui favorisent l'apparition des îlots de chaleur urbain.

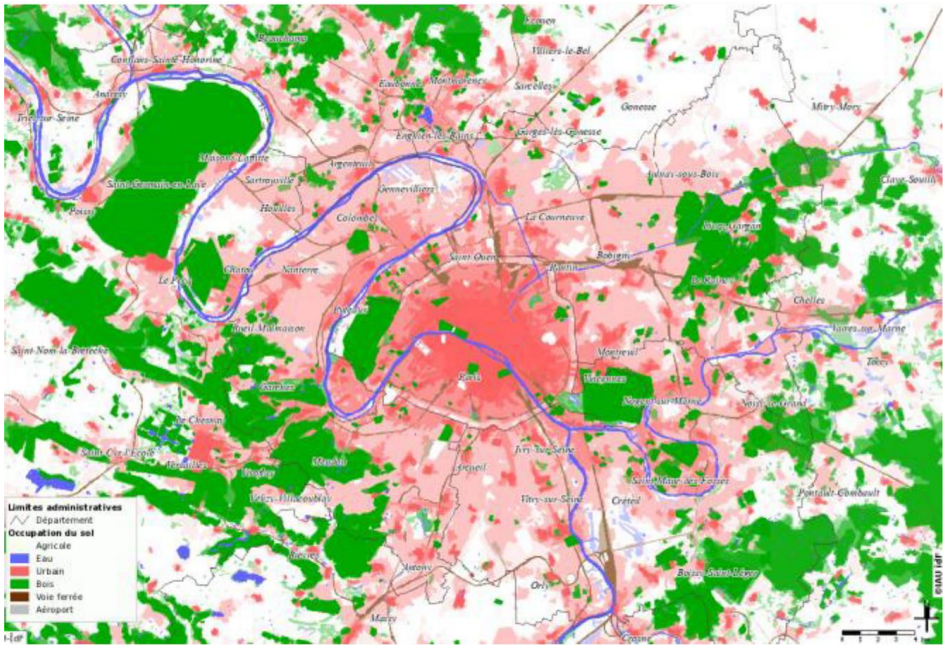


Figure 2 - L'urbanisation de Paris du XVIIIe siècle à nos jours - *(Source: IAU-ÎdF)*
Etapes (du rose foncé au rose clair) : deuxième moitié du XVIIIe siècle, première moitié du XIXe siècle, 1900,1960, 1994.

A Paris, la différence peut parfois dépasser les 10 °C à l'échelle journalière entre le centre de la ville et la campagne la plus froide. En journée, les îlots de chaleur sont morcelés, situés principalement en zones industrielles du fait des propriétés physiques des surfaces qui absorbent la chaleur. A l'inverse, la nuit, se forme un îlot de chaleur unique, centré sur le centre-ville, du fait de la densité urbaine qui empêche la chaleur de s'évacuer. Cela signifie qu'en période de fortes chaleurs la population subit des températures très élevées pendant la nuit, rendant difficile le repos et la récupération.

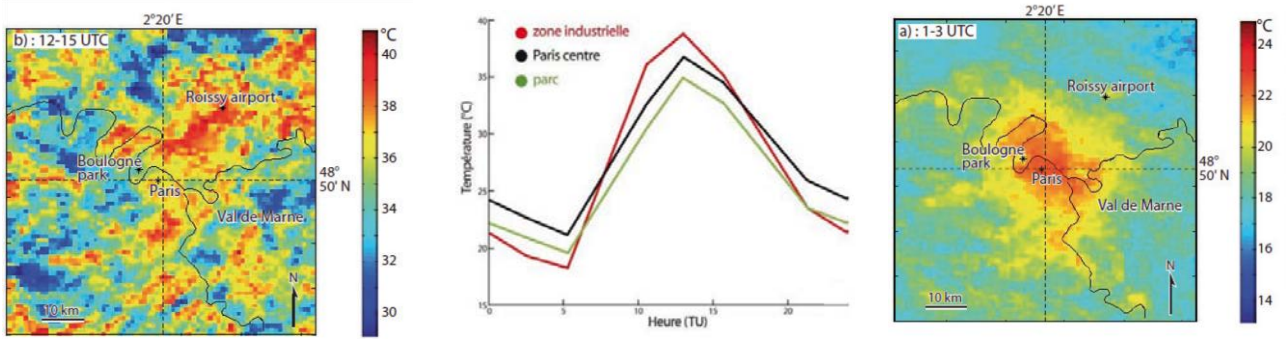


Figure 3 – Cartographie des îlots de chaleur le jour et la nuit (valeur moyennes du 4 au 13 août 2003, données des satellites NOAA-AVHRR) / Evolution des températures sur un cycle de 24h pour différents modes d'occupation des sols [*Source : InVS*]
Zones industrielles : très chaudes le jour, plus froide la nuit ; Centre-ville : très chaud la nuit, ne permet pas à l'organisme de récupérer de la chaleur diurne ; Parcs : températures 2 à 3°C inférieures au centre-ville sur l'ensemble du cycle diurne.

2. Causes

En plus du climat local, influencé par différents paramètres météorologiques comme la température, l'humidité relative et le vent, plusieurs causes liées au milieu urbain favorisent l'émergence et l'intensification des îlots de chaleur urbains. Ces causes sont principalement **le transfert particulier de la chaleur en ville, le modèle d'urbanisation, le comportement des matériaux, la perte progressive de la végétation et de la présence de l'eau, et les sources anthropiques de chaleur.**

Les transferts de chaleur en ville

A l'échelle de la ville, l'énergie reçue du Soleil et de l'atmosphère est absorbée et réfléchie en partie par les matériaux de la ville. Lorsqu'elle est absorbée, elle chauffe les bâtiments et les différents revêtements et couverts urbains ; la partie réfléchie est renvoyée. La particularité de la ville réside ici dans la multitude de surfaces sur lesquelles peut être envoyée l'énergie.

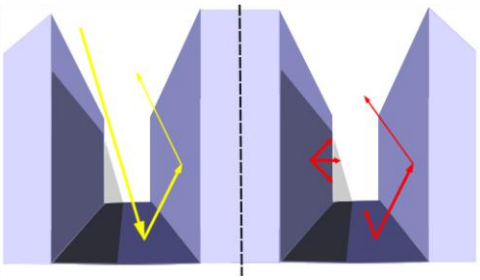


Figure 4 – Rayonnement solaire et infrarouge en ville - *(Source: IAU-ÎdF)*

Est également observé un phénomène de convection. Lorsque l'air chauffé par la ville s'élève, il se dilate et devient alors plus léger que l'air froid. En montant, il se refroidit et retombe. C'est ainsi que se crée un « dôme » au-dessus de la ville où les masses d'air se déplacent dans un mouvement ascendant.

Le modèle d'urbanisation

L'une des causes principales des îlots de chaleur est le modèle d'urbanisation et de développement de la ville. La ville concentre par nature de nombreuses activités humaines émettrices de chaleur, des matériaux urbains qui emmagasinent de la chaleur restituée tardivement et une densité de constructions qui multiplie les surfaces de réflexion.

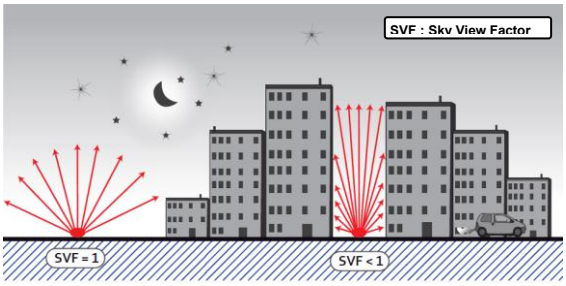


Figure 5 – Le « facteur de vue du ciel » - *(Source: APUR)*

La ville dense fait obstacle aux écoulements d'air favorables au rafraîchissement naturel des espaces extérieurs. Comparée aux zones rurales, la ville possède moins de moyens de rafraîchissement naturels tels que la végétation et l'eau. Ces espaces ont en effet un important pouvoir de rafraîchissement de l'air grâce à l'évaporation de l'eau et l'évapotranspiration des plantes.

La réduction du facteur de vue du ciel due aux morphologies urbaines (formes, orientation, espacements..) limite, de plus, les pertes radiatives nettes des bâtiments et des rues. Les grands bâtiments et les rues étroites créent des canyons où s'accumule et reste captive la chaleur occasionnée par le rayonnement solaire et les activités humaines. Au même titre, on décèle des micro-îlots de chaleur urbains dus aux morphologies particulières de certaines rues et quartiers.

Le comportement des matériaux

La ville stocke plus de chaleur que la campagne. Ceci est principalement dû aux propriétés des matériaux qui composent les bâtiments, les voies de circulations et les infrastructures. Leur comportement (inertie - albédo) par rapport au rayonnement et à la chaleur est différent de celui de la terre nue ou végétalisée que l'on trouve plus facilement à la campagne.

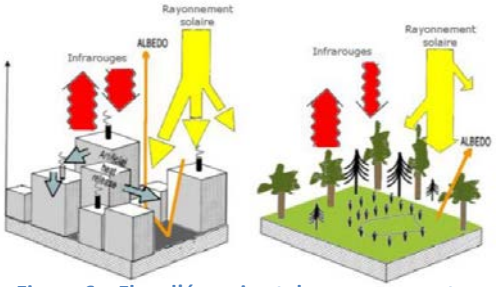


Figure 6 – Flux d'énergie et de rayonnement au-dessus d'une zone urbaine et d'une zone rurale *(Source: Colombert 2008)*

Les revêtements imperméables et les matériaux des bâtiments influencent le microclimat et les conditions de confort thermique, car ils absorbent beaucoup de chaleur durant le jour qu'ils restituent à l'atmosphère pendant la nuit, contribuant ainsi à l'effet d'îlot thermique urbain.

Perte progressive de la végétation et disparition de l'eau en ville

La densification progressive des villes et le développement des infrastructures urbaines ces dernières décennies participent à la perte progressive des espaces naturels et de la végétalisation en milieu urbain.

Cette perte de végétation implique une perte de fraîcheur en milieu urbain. En effet, la végétation joue un rôle essentiel de protection contre la chaleur grâce au phénomène d'évapotranspiration et d'ombrage des sols et des bâtiments. Au cours du processus naturel d'évapotranspiration de la vapeur d'eau, l'air ambiant se refroidit en cédant une partie de sa chaleur pour permettre l'évaporation.

La végétation participe également à une bonne gestion des eaux pluviales et à une meilleure qualité de l'air dans les villes. L'intensification de l'urbanisation des dernières décennies a en effet provoqué la modification des types de recouvrement des sols. Le développement des canalisations des égouts, la disparition progressive des rus affleurant et des zones les plus humides pour des raisons de salubrité ont participé à cette artificialisation des sols. Les sols naturels ont été remplacés par des matériaux imperméables, tels que l'asphalte et les matériaux utilisés pour la construction des bâtiments qui, n'assurant pas de fonctions de filtration et d'absorption de l'eau, modifient ainsi le parcours naturel des eaux pluviales. Il en résulte qu'en ville le taux d'infiltration des sols est de seulement 15 % et la quantité ruisselée de 55 %, tandis qu'en milieu naturel environ 50 % des eaux de pluie sont infiltrées dans le sol et 10 % ruissellent vers les cours d'eau.

Les sources anthropiques

Les activités humaines participent à la fois au réchauffement climatique global et à l'échauffement local de l'air urbain, participant ainsi à accentuer l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Dans les milieux urbains, les sources d'émission de gaz à effet de serre sont principalement les véhicules motorisés, les procédés industriels et le chauffage des immeubles à l'aide de combustibles fossiles. Les rejets de gaz à effets de serre, liés à ces activités humaines, dans l'atmosphère augmentent sa capacité à absorber le rayonnement infrarouge, et donc sa température.

De plus, à la chaleur naturelle, vient s'ajouter une chaleur directe ou indirecte produite par les activités humaines (industries, transports, systèmes de climatisation, électroménager, chaudières…). Ces rejets de chaleurs perturbent l'équilibre thermique localement. Lorsque la chaleur naturelle est déjà élevée, notamment à cause du rayonnement infrarouge réfléchi de multiples fois, les chaleurs anthropiques accentuent le phénomène et rendent la ville difficilement supportable en terme de température.

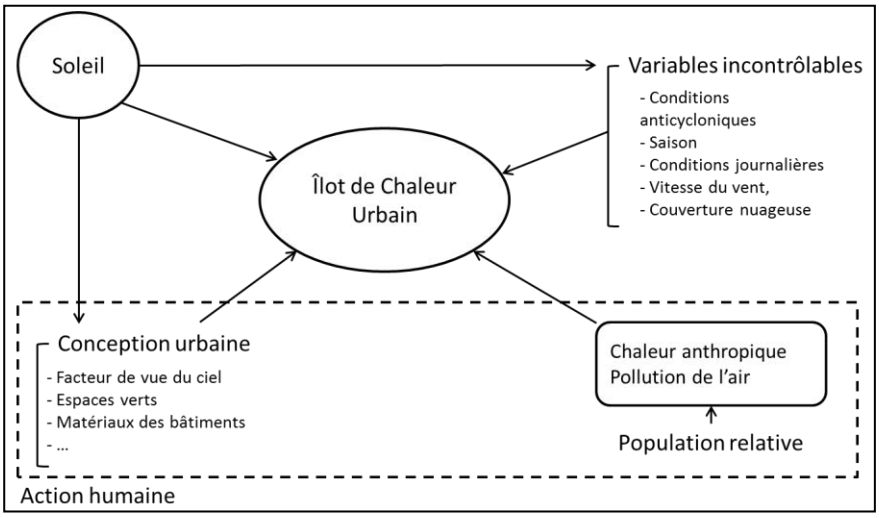


Figure 7 – Synthèse des causes de formation de l'îlot de chaleur urbain

3. Impacts

Les îlots de chaleur urbains ont des impacts néfastes sur l'environnement et sur la santé. Ces impacts sont notamment accentués en période estivale.

Confort thermique

Afin de réduire la vulnérabilité individuelle et d'assurer un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique, les températures ambiantes doivent être ni trop basses ni trop élevées. Le corps humain à une température centrale moyenne de 37 °C, indépendante de la température de son environnement. Cette température est maintenue grâce aux apports de calories apportés par la nourriture et aux échanges de chaleur avec l'environnement immédiat selon ces mécanismes : la convection, la conduction, le rayonnement et la transpiration.

L'interprétation du confort thermique est avant tout subjective, elle dépend d'une personne à l'autre suivant les époques, les cultures, le niveau d'activité, le type de vêtements portés, la température de l'air et des surfaces environnantes, le rayonnement solaire ainsi que la vitesse et l'humidité relative de l'air.

Qualité de l'air

L'augmentation des températures engendrées par l'effet d'îlot de chaleur aggrave la pollution atmosphérique et accroît les effets néfastes du smog sur la santé humaine.

Le smog, composé de particules fines et d'ozone troposphérique, se forme lors de la réaction entre les rayons du soleil, la chaleur et les polluants (oxydes d'azote (NO_x) et composés organiques volatils (COV)). Les températures au-delà de 30 °C sont particulièrement favorables à la formation d'ozone au sol, expliquant que l'été soit caractérisé par des niveaux d'ozone plus élevés. En accentuant la chaleur et en accroissant les risques de vagues de chaleur, les îlots de chaleur urbains aggravent donc le phénomène du smog. La recrudescence des problèmes respiratoires aigus, les cas de bronchites, l'athérosclérose, les infarctus, les accidents cérébrovasculaires et les morts subites sont en lien avec l'augmentation des concentrations de polluants dans l'air.

Figure 8 – Smog dans une grande ville moderne, Paris

La chaleur accrue a de plus un effet sur la qualité de l'air intérieur. Elle favorise la multiplication des acariens, des moisissures et des bactéries. Certaines substances toxiques, telles que les formaldéhydes, contenues dans les colles utilisées dans la fabrication des meubles et les matériaux de construction, sont libérées lors de fortes chaleurs.

Besoins de rafraîchissement

Les besoins de rafraîchissement de l'air intérieur et de réfrigération peuvent générer une hausse de la demande en énergie ayant comme conséquence l'émission de gaz à effet de serre selon la source d'énergie employée.

En effet, afin d'assurer un confort thermique en période estivale, les climatiseurs sont souvent privilégiés. Cependant, cette solution n'est pas à choisir d'emblée, car en plus de la grande demande en énergie qu'elle crée, une climatisation accrue et généralisée peut entraîner des impacts accentuant l'îlot de chaleur urbain. De façon générale, la climatisation à grande échelle peut occasionner :

- une grande demande en énergie,

- la production de chaleur anthropique par extraction de l'air chaud de l'intérieur du bâtiment vers l'extérieur du bâtiment.
- l'émission de gaz à effet de serre (CFC[1], HCFC[2], HFC) causée par l'utilisation de fluides frigorigènes nocifs,
- la dégradation de la qualité de l'air et certaines de ses conséquences sur la santé humaine (*Legionella…*)

À la lumière des conséquences de l'utilisation de la climatisation à grande échelle, dont certaines ont été rapportées ci-dessus, il s'avère donc très important d'envisager d'autres solutions, plus durables tant pour l'environnement que pour la santé des générations actuelles et futures, et qui tiennent compte de considérations qui toucheront à la fois les causes du changement climatique et l'adaptation à ce changement.

Risques sanitaires

Les études épidémiologiques des vagues de chaleur ont révélé un impact sanitaire plus élevé dans les villes que dans leurs régions respectives, notamment sur les personnes âgées.

Le premier intérêt de la lutte contre les îlots de chaleur urbains est de diminuer les risques sanitaires qui lui sont liés, particulièrement les risques liés aux canicules, mais aussi les problèmes, notamment respiratoires, dus à la pollution des villes.

Les canicules sont en effet le premier risque pris en compte dans la lutte contre les ICU. La canicule de l'été 2003 et dans une moindre mesure celle de 2006, ont mis en évidence les problématiques de santé lors des périodes de forte chaleur.

La chaleur accablante accentuée ou générée par les îlots de chaleur urbains peut créer un stress thermique pour la population. Certaines personnes sont davantage vulnérables aux îlots de chaleur urbains, comme les personnes atteintes de certaines maladies chroniques, les populations socialement isolées, les très jeunes enfants, les travailleurs extérieurs, les personnes ayant un faible niveau socioéconomique, les sportifs extérieurs de haut niveau et les personnes souffrant de troubles mentaux. Enfin, les personnes âgées sont également prédisposées à des troubles liés à la chaleur, notamment en raison des changements physiologiques associés au vieillissement.

La chaleur accablante engendrée par les îlots de chaleur urbains peut provoquer des inconforts, des faiblesses, des troubles de la conscience, des crampes, des syncopes, des coups de chaleur, voire exacerber les maladies chroniques préexistantes comme le diabète, l'insuffisance respiratoire, les maladies cardiovasculaires, cérébrovasculaires, neurologiques et rénales, au point de causer la mort. Les agences de santé à travers le monde, sur recommandation de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), mettent en place divers programmes de lutte aux effets de la chaleur accablante et de prévention des îlots de chaleur urbains.

La canicule de 2003 a eu de lourdes conséquences sanitaires : plus de 15 000 décès supplémentaires par rapport à la mortalité habituelle sur cette période en France soit une surmortalité de +60% dont un niveau nettement supérieur en Ile-de-France avec 5000 décès soit une surmortalité de +134%. Une étude réalisée par InVS montre que l'effet d'îlot de chaleur urbain a joué un rôle important dans la surmortalité observée pendant les vagues de chaleur (repos nocturne empêché, persistance de la canicule…).

[1] Suite au protocole de Montréal, les CFC sont interdits dans la CE depuis 1987

[2] Les HCFC devrait être interdits à horizon 2020

Enfin, les pathologies, notamment respiratoires, liées à la pollution sont également à prendre en compte. Les ICU et particulièrement les canicules se caractérisent entre autres par une stagnation des masses d'air en ville ce qui concentre les polluants dans l'air et peut donc avoir des conséquences graves sur la santé.

Niveau	Effets de la chaleur	Symptômes et conséquences
Niveau 1	Coup de soleil	Rougeur et douleur, œdème, vésicules, fièvre, céphalées
Niveau 2	Crampes de chaleur	Spasmes douloureux (jambes et abdomen), transpiration
Niveau 3	Epuisement thermique	Forte transpiration, faiblesse, froideur et pâleur de la peau, pouls faible, température normale
Niveau 4	Coup de chaleur	Température corporelle supérieure à 40,6°C, peau sèche et chaude, pouls rapide et fort, perte de conscience possible. Décès possible par défaillance de la thermorégulation.

Figure 9 – Risques pour la santé d'une exposition à la chaleur : symptômes et niveaux de gravité – (*Source : inrs.fr*)

MODE D'EMPLOI DES FICHES DE RECOMMANDATION

Les fiches sont organisées selon le modèle ci-dessous :

- La partie de gauche développe les mesures associées à la recommandation à partir d'un texte explicatif et de schémas si nécessaire.
- La partie de droite illustre, à travers des exemples régionaux, des situations favorables répondant aux mesures et à la recommandation abordées.

Les fiches de recommandation sont associées à trois niveaux d'intervention :

- **Le territoire et la ville :** La lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain à cette échelle s'appuie sur le potentiel qui réside dans la stratégie territoriale des collectivités et par exemple l'utilisation des terres. C'est l'opportunité du développement de solutions rentables et intégrées dans le cadre d'une stratégie de changement climatique global à plus grande échelle.
- **Le quartier et la rue :** Cette échelle implique l'évolution des quartiers, des aménagements extérieurs et des groupes de bâtiments qui les composent. Il s'agit de trouver un équilibre entre l'adaptation du domaine public et des espaces entre les bâtiments et leur développement.
- **L'îlot et le bâtiment :** Les « petits développements », notamment les logements, les immeubles commerciaux ou bâtiments tertiaires offrent des possibilités pour l'intégration de mesures de lutte contre l'îlot de chaleur urbain dans ou autour des bâtiments. Une attention particulière est accordée à la conception du bâtiment, de ses environs, à son exploitation et à sa gestion.

L'utilisation de chaque fiche est donc à adapter en fonction du contexte des projets concernés.

APPROCHE GLOBALE

La lecture de ce guide et la prise en compte des recommandations énoncées doit s'inscrire dans une approche globale et intégrée de l'ensemble des thématiques afin d'agir à l'échelle globale comme à l'échelle locale.

La sensation de confort des espaces extérieurs est en effet liée à différents facteurs d'ambiance qui évoluent selon les lieux et les sensibilités (*Exemple ci-dessous d'un bâtiment sur pilotis*). Sont principalement reconnus dans ces facteurs :

- La température (T°) : température de l'aire, température de surface, température d'ambiance…
- L'humidité liée principalement aux zones plantées et aux plans d'eau
- Les vitesses d'air et les turbulences qui varient suivant la direction des vents et les obstacles sur site
- L'ensoleillement régi par les ombrages du site et les matériaux choisis
- D'autres facteurs comme le bruit ou la qualité de l'air

En conséquence, la forme urbaine, la nature des matériaux ainsi que les composants (végétation et eau) influent directement sur la combinatoire microclimatique qui en résulte. C'est la combinaison de ces différents facteurs qui permettra de lutter efficacement contre l'effet d'îlot de chaleur urbain et offrir aux habitants des espaces extérieurs confortables en période estivale.

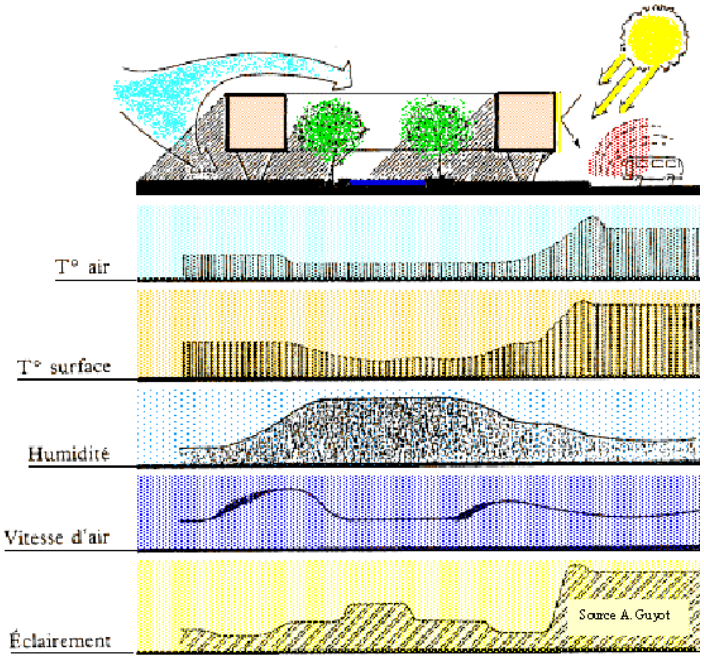


Figure 10 - Mécanisme microclimatique (Source: A. Guyot)

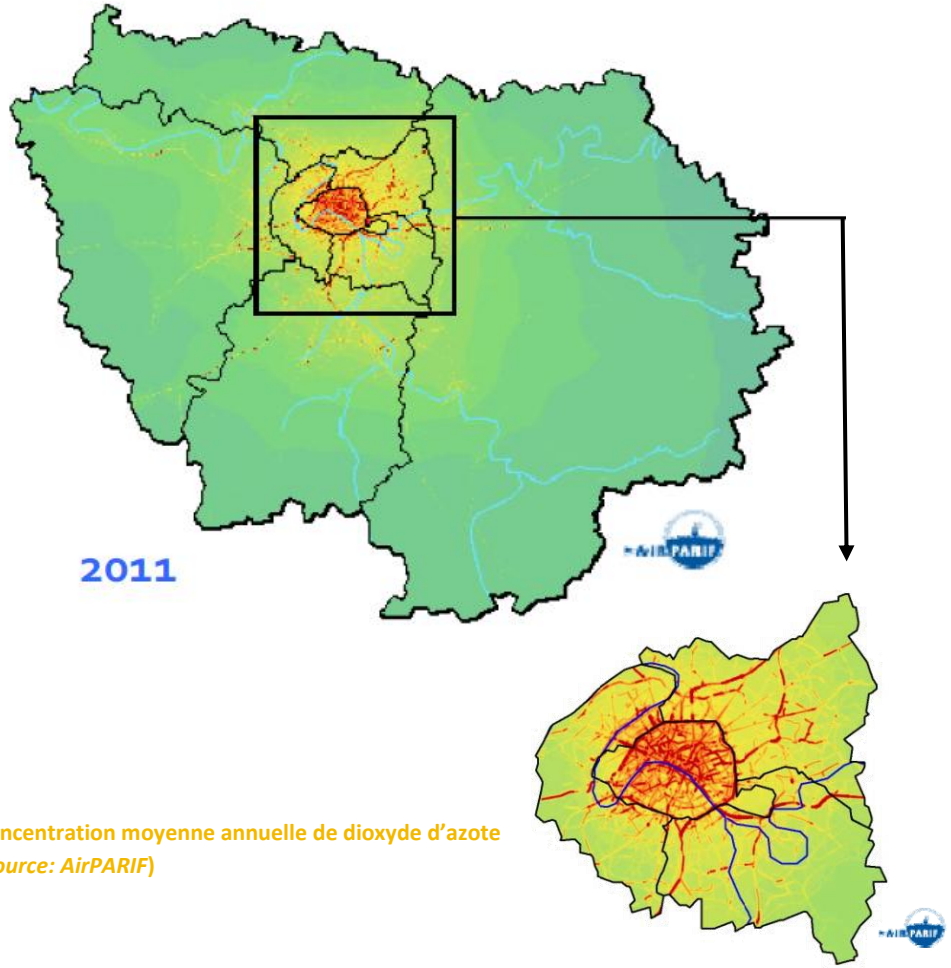
L'ensemble des recommandations présentées varient par leurs apports en termes d'ombrage, d'humidité, d'aération des espaces, de gain en température ou encore d'amélioration de la qualité de l'air. Ces apports sont néanmoins peu quantifiables et concernent des échelles variées. Des estimations pourront néanmoins être obtenues dans la littérature existante (**Voir Source**).

Ces recommandations s'adressent à tout type de projet de la création d'écoquartiers, à des opérations de rénovation urbaine ou d'aménagements dans la ville existante. L'enjeu se situant principalement au cœur de la ville existante, les recommandations doivent être adaptées tant qu'il se peut à ce type d'opération.

La prise en compte de l'ensemble de ces préoccupations montre la nécessité d'une approche globale à la lecture de ce guide.

A .SANTE ET QUALITE DE L'AIR

ENJEUX



Concentration moyenne annuelle de dioxyde d'azote (*Source: AirPARIF*)

En milieu urbain, la hausse globale des températures est renforcée par l'effet d'îlot de chaleur urbain. Cette augmentation des températures a des effets à la fois sur la santé et sur le bien-être des habitants, particulièrement en période estivale. Ces conséquences sont en lien direct avec l'aggravation de la pollution atmosphérique engendrée par la hausse des températures et les effets néfastes du smog sur la santé humaine. L'absorption des polluants et la diminution du smog sont essentiels pour le maintien de la qualité de l'air et l'atténuation des risques pour la santé publique.

En effet, une surmortalité importante est observée dans les grandes agglomérations notamment lors des canicules. Les symptômes liées à la chaleur comme les coups de chaleur, l'hyperthermie, la déshydration, les maladies respiratoires et cardiovasculaires sont les principales causes de cette surmortalité. Une étude InVS[1] a mis en évidence certains facteurs de risque, liés aux caractéristiques des personnes (perte d'autonomie, pathologie préexistante…) ou à leur environnement (chambre sous les toits, chaleur persistante la nuit). Il est nécessaire de sensibiliser et de prendre les mesures nécessaires pour réduire ces risques de surmortalité.

Le maintien de la qualité de l'air par la diminution des activités polluantes et l'augmentation de la végétation en ville, et, les actions de sensibilisation en matières sanitaires sont les enjeux principaux afin de limiter la dégradation des conditions de vie dans les grands centres urbains.

De plus, les Schémas Régionaux Climat, Air et Energie (SRCAE) instaurés par les Loi Grenelle 1 et 2 de l'environnement imposent de cartographier des zones dites sensibles en ce qui concerne la qualité de l'air. Ces zones se définissent par une forte densité de population et par des dépassements des valeurs limites pour certains polluants (PM10 et NO2). Sur ces zones les actions en faveur de la qualité de l'air sont qualifiées de prioritaires. Un grand nombre de communes d'Ile-de-France est concerné par cette zone sensible (*Source : Bilan de la qualité de l'air en Ile-de-France en 2011 – AirParif*).

[1] *« Rôle des îlots de chaleur urbains dans la surmortalité observée pendant les vagues de chaleur » - InVS - 2012*

A SANTE ET QUALITE DE L'AIR

Le Territoire et la ville

1 ACCOMPAGNEMENT ET SENSIBILISATION

Mettre en place une campagne de sensibilisation aux bonnes pratiques estivales

En période de forte chaleur, une politique d'information sur les bonnes pratiques à adopter notamment dans les logements est à mettre en place. L'évacuation de la chaleur la nuit (surventilation nocturne), l'usage des protections solaires extérieures, l'hydratation régulière, la limitation des apports de chaleurs interne (usage d'appareils électriques générant des surchauffes type sèche-linge, sèche cheveu, fer à repasser, halogène…), éviter d'ouvrir les fenêtre en pleine journée ou encore éviter de sortir aux heures chaudes de la journée sont des recommandations à mener auprès des habitants. Elles sont souvent oubliées dans nos mœurs actuelles.

Des journées d'informations pédagogiques à destination des franciliens sur l'effet d'îlot de chaleur urbain et les épisodes caniculaires pourront être organisées en sensibilisant notamment sur le rôle important de la végétation et de l'eau en ville. (**Voir Retours d'expérience 1.**)

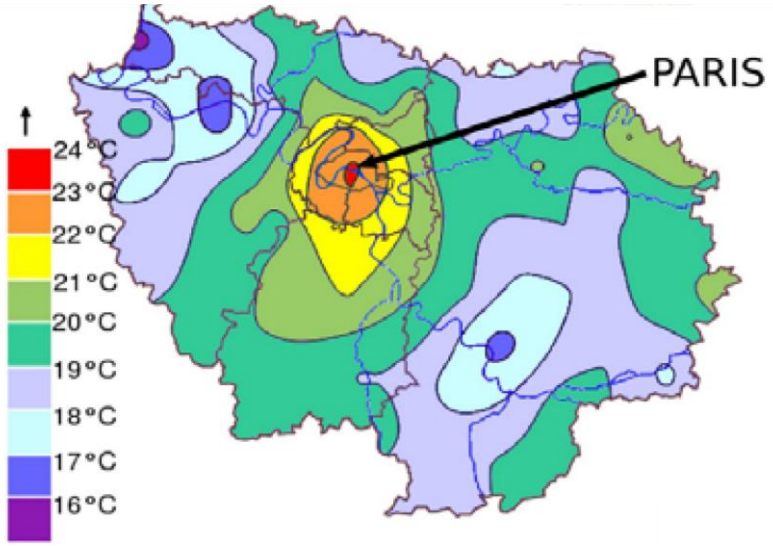
Prévoir une aide aux personnes seules ou ne pouvant se déplacer

Les périodes de forte chaleur liées aux îlots de chaleur sont de nature à handicaper certaines personnes dans leurs habitudes quotidiennes. Une aide aux personnes en perte d'autonomie ou ne pouvant se déplacer seules est à prévoir afin de les aider dans leur quotidien et à accéder par exemple aux lieux de rafraîchissement (le risque de décès et multiplié par 4 à 10 pour ces personnes selon l'étude InVS). De même, des rafraîchisseurs d'air à faible consommation, et à faible coût, peuvent être mis à disposition.

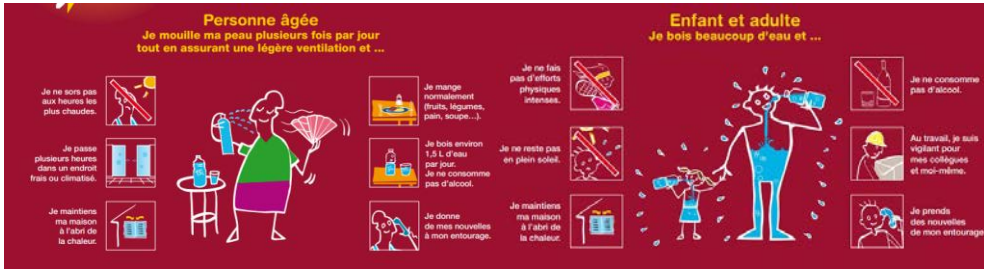
Adopter une politique permettant de réduire les émissions de polluant en ville

Tout au long d'une journée, un francilien est confronté à diverses pollutions. Dans les voitures, suivant le type d'axe emprunté et les environnements traversés, des niveaux de pollution deux fois plus importants que sur les trottoirs sont observés. De même, les cyclistes sont victimes de cette pollution engendrée par le trafic. Ecarter une piste cyclable de quelques mètres de l'axe routier permet par exemple de réduire de façon conséquente l'exposition à la pollution automobile.

Ces constats montrent la nécessité d'engager une politique en faveur de la réduction de l'automobile en ville et de la diminution des activités polluantes en milieu urbain (**Voir F**).



Températures minimales pendant la canicule de 2003 – Source : ONERC



Outils de communication
Source : Ministère en charge de la santé

Outils de communication
Source : Ministère en charge de la santé

Exemple d'une piste cyclable à l'écart de la pollution automobile – Source : Cyclesud

Le quartier et la rue

2 VEGETATION ET RAFRAICHISSEMENT

Donner l'accès à des aires de rafraîchissement

L'accès à des aires de rafraîchissement est essentiel pour soulager la population des effets néfastes de la chaleur et prévenir des risques sanitaires liés aux coups de chaleur ou à la déshydratation. Outre les aires de rafraîchissement extérieures (Voir D), les équipements publics sont propices à l'accueil de la population en période de forte chaleur en offrant des espaces climatisés. Les écoles, les centres culturels, les centres commerciaux ou encore les lieux de culte sont principalement concernés. De même, pour les travailleurs extérieurs des aires de repos dans des abris rafraîchis sont à prévoir.

Square du Temple à Paris, aire de rafraichissement extérieur (Source : equipement.paris.fr)

Développer la présence d'arbre et de végétation (Voir C)

La présence de végétation en ville permet d'améliorer la qualité de l'air par la production d'oxygène, la captation de CO_2, la filtration des particules en suspension et la réduction de la demande énergétique liée à la climatisation. La végétation a la propriété de soutirer de l'air ambiant une partie des polluants qui s'y trouvent en les fixant sur les feuilles, tiges et tronc, jusqu'à ce qu'une pluie vienne les entraîner vers le sol. Jusqu'à 85% des particules en suspension dans l'air peuvent être captés par un espace boisé.

Il a été prouvé que la végétation a des effets positifs sur la gestion du stress, la fatigue mentale et l'état d'esprit, améliorant ainsi le bien être des habitants. Par la végétalisation, l'amélioration des conditions de vie est associée à la diminution de l'effet d'îlot de chaleur urbain.

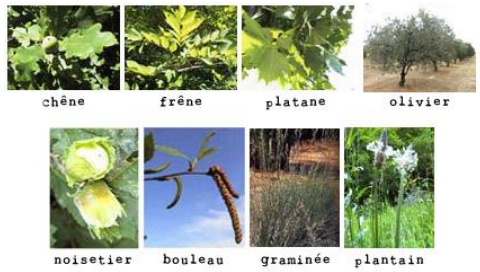
Afin de capter des pollutions particulières à certains milieux, le choix de végétaux spécifiques est une solution. Les haies sont par exemple préconisées pour retenir les particules nocives des pots d'échappement.

Espace de rafraichissement pour personnes âgées
Source : Nantes

Les lieux de culte, lieux de fraicheur en été

Eviter les espèces végétales émettrices de composés organiques volatils (COV) ainsi que les espèces à fort pouvoir allergisant

Dans le choix des végétaux, il convient d'éviter les espèces émettrices de composés organiques volatils (COV) entrant dans la composition du smog ainsi que les espèces à fort pouvoir allergisant. La pollution atmosphérique et notamment les teneurs élevées en ozone potentialisent l'action des allergènes. En effet, les plantes des milieux urbains, plus stressées, pollinisent davantage ce qui engendre la fixation de certaines substances polluantes aux particules de pollen et augmente le potentiel allergisant.



Les principaux pollens allergisants – Source : AirParif

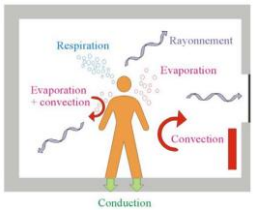
Exemple de plante d'intérieur dépolluante, le ficus benjamina

Le quartier et la rue

3 SENSIBILISATION ET PERSONNES A RISQUE

Sensibiliser sur les mesures à adopter en cas de forte chaleur

Afin de limiter la surmortalité en période de forte chaleur, il est nécessaire d'alerter et de sensibiliser les habitants sur ce phénomène :

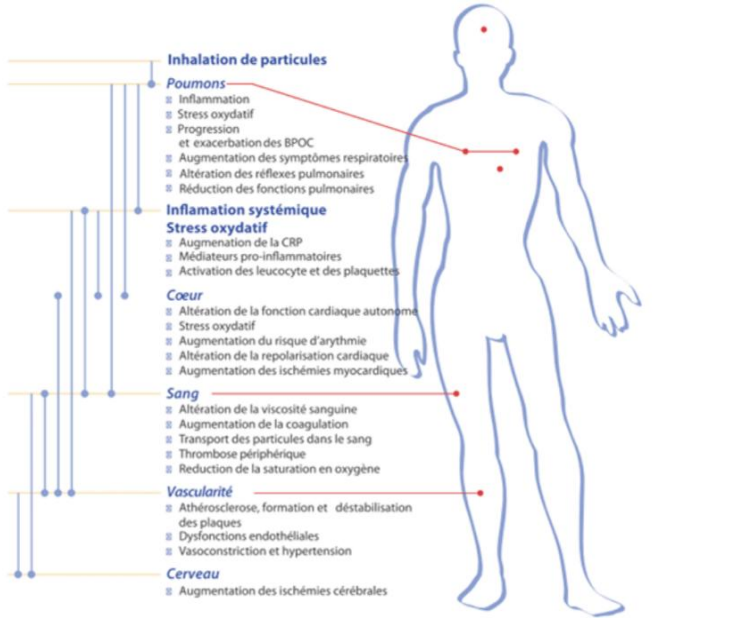


- La sensibilisation des individus aux mécanismes de production et de perte de chaleur leur permettra de mieux contrôler ces phénomènes. Les principes de la convection, la radiation, l'évapotranspiration (par respiration ou par sudation) sont à diffuser,
- Les signaux d'alarmes des coups de chaleur et de la déshydratation ainsi que leurs manifestations cliniques doivent être connus. La fièvre, l'étourdissement, la confusion, la fatigue, le malaise généralisé, l'essoufflement, les vomissements, la diarrhée ou encore la chute de tension doivent être identifiés comme les signes avant-coureurs d'un coup de chaleur ou d'une déshydratation,
- Les mesures générales à adopter en cas de forte chaleur doivent être diffusées. Bien s'hydrater, éviter café, thé, alcool, boissons sucrées, préférer des repas légers, frais et fréquents ou encore rechercher les endroits frais sont des pratiques à généraliser en période de chaleur.
- Une sensibilisation aux actions et usages à adopter en intérieur comme à l'extérieur est à mener. La fermeture des stores, rideaux et fenêtres le jour, l'ouverture des fenêtres la nuit, les bains et douches rafraîchissantes sont des actions à adopter à l'intérieur des bâtiments. Adapter ses activités, éviter de sortir aux heures chaudes de la journée, adapter sa tenue vestimentaire et éviter les coups de soleil sont les usages à respecter en extérieur.

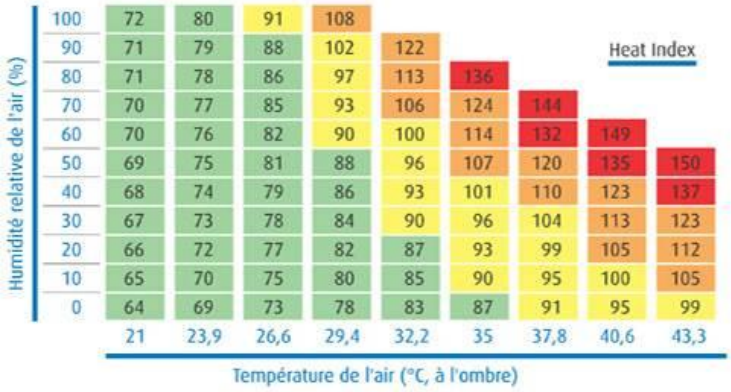
Etre attentif aux personnes à risques

Une attention particulière doit être portée sur les personnes à risques. Sont identifiées comme personnes à risques les jeunes enfants, les personnes âgées, les sportifs, les travailleurs en extérieur, les personnes isolées ou les personnes dans des endroits difficiles à rafraîchir comme les personnes vivant sous les toits (risque de décès multiplié par 4 selon l'étude InVS).

Les personnes sensibles aux problèmes respiratoires doivent également bénéficier d'une attention particulière car lors de vagues de chaleur, la qualité de l'air est souvent compromise



Mécanisme expliquant les effets sanitaires des particules fines *(Source : fischerdesign.com)*

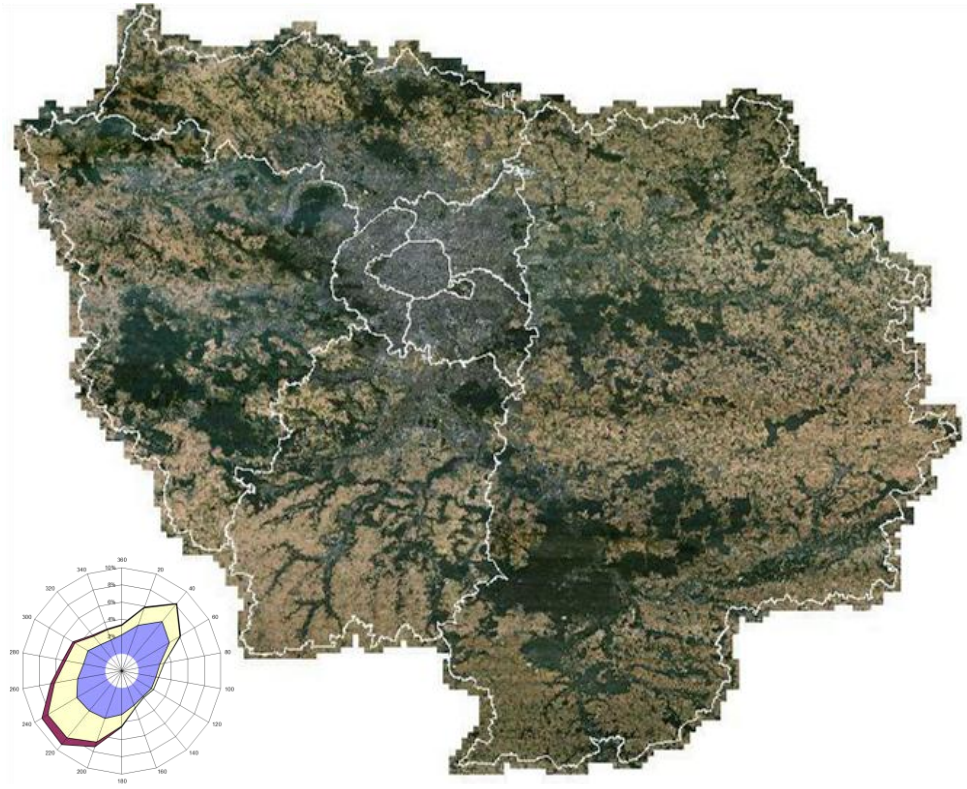


Heat Index	Troubles physiologiques possibles en cas d'exposition prolongée à la chaleur et/ou avec une activité physique
80 à 90	Fatigue
90 à 104	Coup de soleil*, crampes musculaires et épuisement physique
105 à 129	Épuisement, coup de chaleur possible
130 et plus	Risque élevé de coup de chaleur / coup de soleil*

Le « Heat Index » - Source INRS

B. VENTILATION NATURELLE DES ESPACES EXTERIEURS

ENJEUX



Rose des vents sur la région parisienne [Orly] (*Source : Météo France et IAU IdF*)

Un des premiers objectifs de la conception environnementale des espaces publics urbains est la création de zones urbaines offrant des espaces extérieurs confortables. Bien que la notion de confort soit avant tout subjective, il existe des indices comme le PPD (*Predicted Percent of Dissatisfied*) qui permettent d'évaluer le pourcentage maximum de personnes satisfaites.

La chaleur est à ce titre un des paramètres essentiels pour le confort et le bien-être humain. Au sein des îlots de chaleur, la température est souvent plus élevée que la température corporelle et entraine un inconfort qui pousse le corps à retrouver un équilibre grâce aux mécanismes de thermorégulation du corps humain.

La ventilation permet, dans certains cas, d'atteindre un niveau de confort acceptable. Elle favorise les échanges de chaleur entre l'eau et l'air et évacue la transpiration. Assurer la bonne ventilation des espaces extérieurs est essentiel. Le tracé des rues et l'orientation des bâtiments affectent ces conditions de ventilation, un travail sur le plan de nos villes doit être mené pour optimiser cette ventilation et lutter efficacement contre l'effet d'ilot de chaleur urbain.

B VENTILATION NATURELLE DES ESPACES EXTERIEURS

Le territoire et la ville

1 DONNEES METEOROLOGIQUES

Recenser les données météorologiques du territoire et les données de vent locales

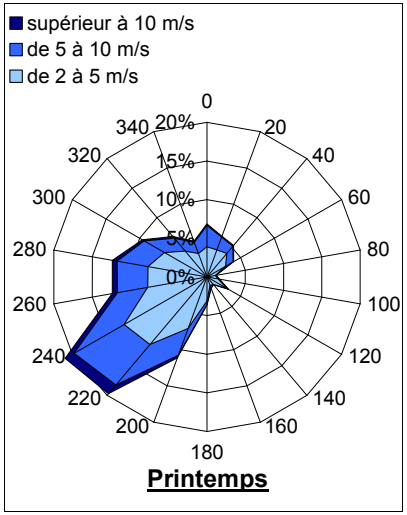
Connaître les données climatiques de son territoire est indispensable pour mettre en place des actions en faveur du rafraîchissement de la ville. Ces données sont disponibles sur demande à Météo France. Plusieurs stations météorologiques permettent de recenser des données de vent au plus proche de son territoire (Orly, Montsouris, Le Bourget, Trappes, Roissy…). Ces données permettront d'identifier les vents dominants sur l'ensemble de l'année et plus particulièrement en période estivale.

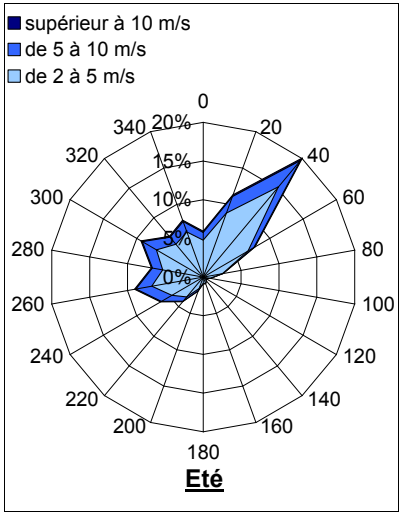
Des prévisions climatiques régionales à long terme sont également disponibles sur le net. Réalisé dans le cadre du Plan National d'Adaptation, le site « Drias, les climats du futur » (drias-climat.fr) permet de se faire une idée un peu plus précise des prévisions à plus ou moins long terme (2035, 2055 ou 2085) en termes de températures moyennes ou maximales, de nombre de jours de gel ou de canicule ou de volumes de précipitations.

Intégrer à la planification urbaine la bonne circulation des vents en période estivale

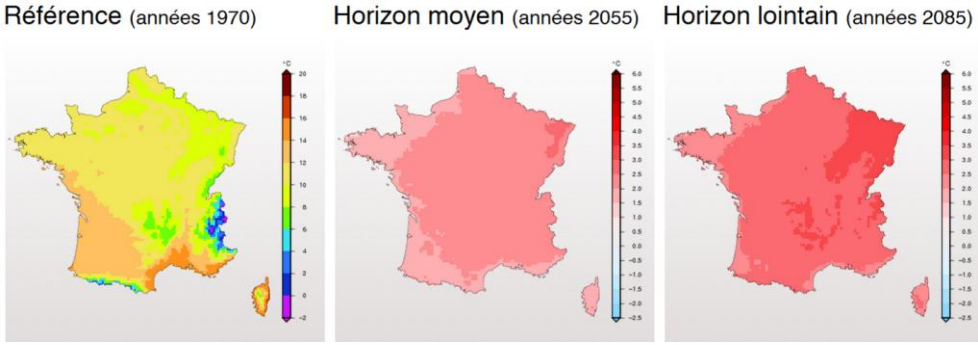
L'amélioration du confort des habitants en extérieur est liée principalement aux formes urbaines et à la planification globale du territoire. Une étude sur la circulation des flux d'air à l'échelle de la ville et principalement dans les rues et les espaces publics permet d'identifier les zones d'inconfort et d'apporter des actions correctives à la planification du territoire et à ses formes urbaines. De même, dans le cas d'une nouvelle opération d'aménagement, une étude aéraulique permet de vérifier que le nouvel aménagement ne réduit par le rôle rafraîchissant des vents en période estivale sur le reste du territoire.

Combinés à une stratégie de bonne circulation des vents en période estivale sur le territoire, les espaces végétalisés (**Voir C**) ou bénéficiant d'étendues d'eau (**Voir D**) sont capables de rafraîchir la ville plus efficacement. Cette stratégie est notamment optimale pour les villes ayant un fort taux d'humidité.





Rose des vents en période estivale en Ile-de-France - Les % indiquent la probabilité d'occurrence.



Evolution des températures moyennes quotidiennes – Source : drias-climat.fr

	moyenne	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
T°mini °C	8°0	2	2	4	7	10	13	15	15	12	9	5	3
T°maxi °C	15°0	6	8	11	15	19	22	24	23	21	16	10	7
Record froid °C	depuis 1961	-14	-15	-9	-2	2	4	9	8	3	-3	-4	-11
Record chaud °C		15	21	26	29	33	35	35	40	33	28	21	17
Soleil - h/jr	4h55	1h55	3h	4h35	6h10	6h55	7h35	7h40	7h10	6h10	4h15	2h20	1h40
Soleil - part dans une journée	39%	23%	30%	39%	45%	46%	48%	49%	51%	50%	40%	26%	20%
Pluie - mm	630 mm	50	50	50	40	60	60	60	50	50	50	60	50

Récapitulatif du climat parisien – Source : meteo-paris.com

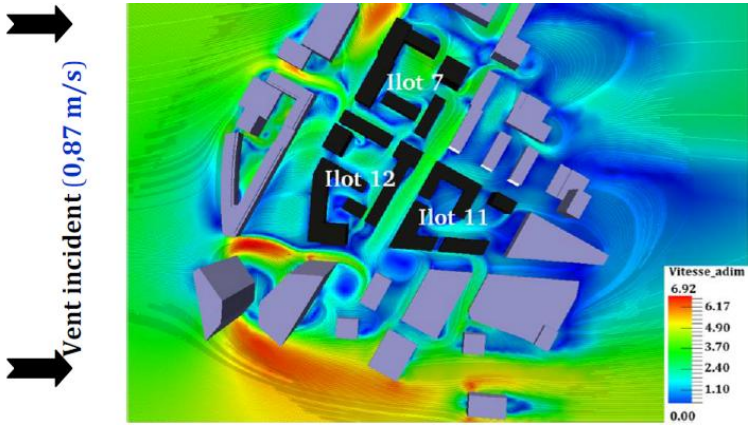
B VENTILATION NATURELLE DES ESPACES EXTERIEURS

Le quartier et la rue

2 ETUDES AERAULIQUES

Intégrer une étude aéraulique lors de la phase de conception des projets d'aménagement urbain

A l'échelle d'un quartier, une étude aéraulique permet d'identifier précisément les zones d'inconfort liées aux vents dans les espaces extérieurs. En phase conception de projet urbain, ceci permet d'assurer à la fois la bonne ventilation des espaces extérieurs sans toutefois engendrer de l'inconfort de manière trop importante. Une étude aéraulique des quartiers existants permettra d'identifier les zones peu aérées et les zones d'inconforts, des dispositifs pourront être mis en place pour rediriger l'air ou casser les vents et ainsi améliorer le confort des espaces extérieurs du quartier.

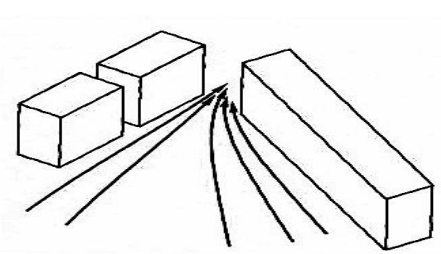


Exemple d'étude de ligne de courant et intensité du vent – Lyon Confluence - Source : RUROS

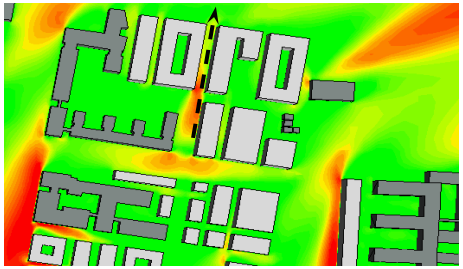
Utiliser la végétation pour rediriger l'air des zones de chaleur

Plusieurs dispositifs permettent de favoriser la ventilation des espaces extérieurs et ainsi de rafraîchir l'air ambiant. La plantation de feuillus à l'ouest, au sud-ouest et au sud des espaces publics permet par exemple de créer en été de l'air rafraîchi à travers la végétation tout en protégeant des rayons du soleil tandis qu'en hiver l'ensoleillement sera maximal après la tombée des feuilles. De même, planter des plantes à feuilles persistantes à l'est, au nord et à l'ouest permet d'atténuer les vents froids d'hiver et ainsi de mieux conserver l'énergie à l'intérieur des bâtiments.

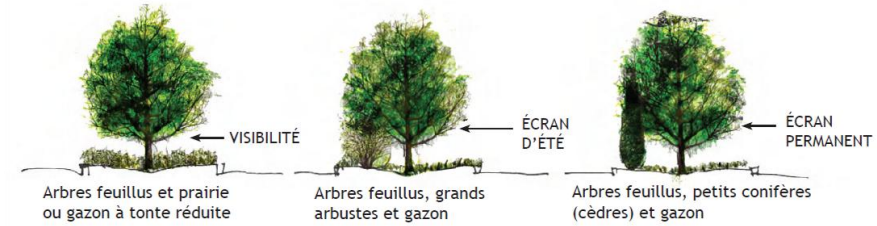
Cet agencement de feuillus et de plantes à feuilles persistantes peut être mis en œuvre de diverses autres façons afin de créer les différents types d'écrans nécessaires. Des systèmes de treillis au niveau des espaces piétons peuvent aussi être utilisés.



Exemple de l'effet venturi à éviter – Source : RUROS



Etude aéraulique d'un plan masse – Source : ALTO Ingénierie



Source : Fauteux et associés (2010)

Tendre vers un schéma en quinconce dans la disposition des bâtiments

L'alignement classique des bâtiments et des rues en quadrillage régulier n'est pas la configuration la plus favorable à la ventilation des espaces extérieurs et indirectement à la ventilation des bâtiments qui composent ce quadrillage. Lorsque les constructions sont implantées diagonalement à la direction des vents dominants, les zones de haute et de basse pression englobent alternativement le bâti, assurant ainsi une ventilation naturelle transversale sur toute la surface et permet d'éviter les problèmes de masque. Lors de vents dominants locaux avec une direction prédominante en été, un schéma en quinconce peut être prescrit pour une meilleure ventilation naturelle des espaces et une ventilation naturelle des bâtiments.

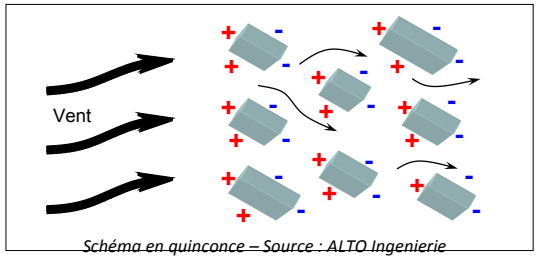
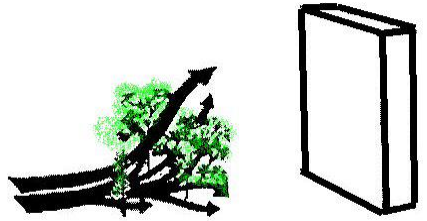


Schéma en quinconce – Source : ALTO Ingenierie



Protection végétale – Source : RUROS

B VENTILATION NATURELLE DES ESPACES EXTERIEURS

L'îlot et le bâtiment

3 VENTILATION NATURELLE DES BÂTIMENTS

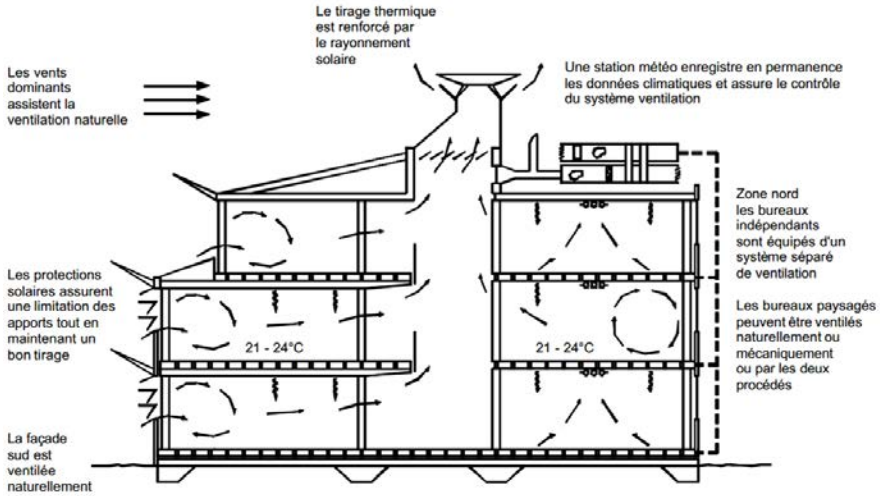
Favoriser la ventilation naturelle des bâtiments

La ventilation naturelle des bâtiments participe à la réduction des apports de chaleur des systèmes de ventilation et évite la surchauffe des espaces intérieurs limitant ainsi localement l'îlot de chaleur.

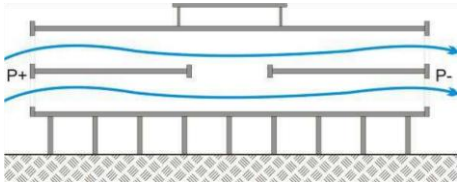
On distingue deux types de ventilation naturelle : la ventilation transversale et la ventilation à tirage naturel ou surventilation nocturne. La ventilation transversale s'effectue en ouvrant les fenêtres ou les portes situées sur des murs opposés, ce qui permet aux courants d'air de circuler dans les pièces. Plus la différence de température entre l'air extérieur et intérieur est grande, plus la capacité de climatisation est optimisée. Il a été observé, lors de la vague de chaleur de 2003 en Europe, que la surmortalité a été plus importante dans les appartements à orientation unique ne permettant pas une ventilation transversale.

La technique de ventilation à tirage naturel ou surventilation nocturne requiert de laisser l'air frais entrer par des ouvertures préférablement situées dans le bas de la façade nord du bâtiment (air plus frais) et de laisser sortir l'air chaud par une ouverture située dans le haut du bâtiment. Ce différentiel de température crée un effet de cheminée et permet une ventilation verticale et un renouvellement de l'air plus rapide. En plus du différentiel de température (effet local), l'effet de cheminée est également lié à la différence de pression thermodynamique et aux échanges thermiques avec l'extérieur, il est donc plus prononcé dans les bâtiments comportant de nombreux étages. Par ces techniques, la température de l'air intérieur peut ainsi être réduite de plusieurs degrés.

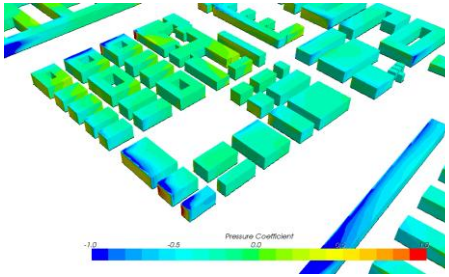
Pour favoriser la ventilation naturelle, l'étude des vents dominants est nécessaire. Une étude aéraulique peut venir confirmer le choix de la ventilation naturelle en fonction de l'orientation du bâtiment et des bâtiments avoisinant. Un angle de 45° par rapport au vent local dominant en été est préconisé pour une ventilation naturelle optimale (**Voir B.2**).



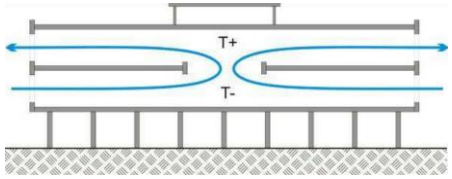
La ventilation nocturne – Source : COSTIC



Mouvement d'air par différence de pression entre deux façades

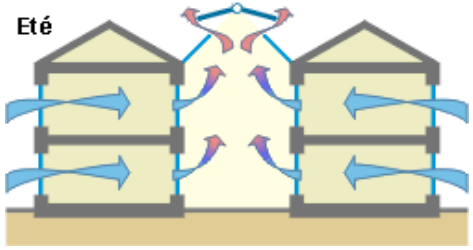


Etude aéraulique d'un plan masse identifiant les façades propices à la ventilation naturelle – Source : ALTO Ingénierie



Mouvement d'air par différence de température

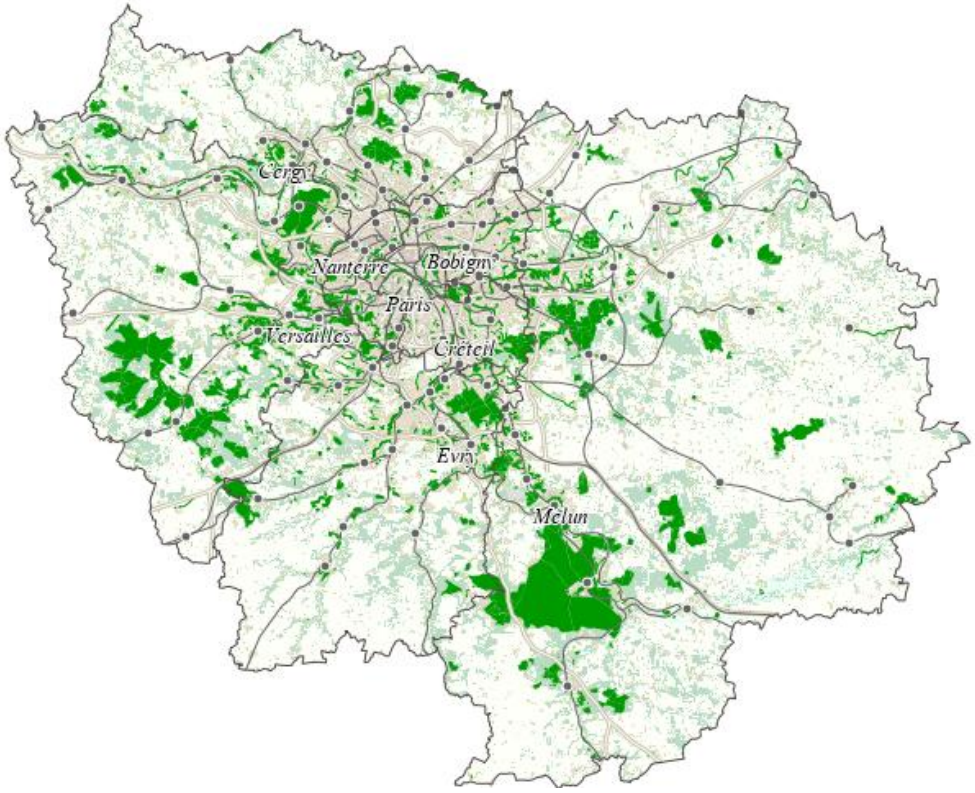
Principe de la ventilation transversale
Source : Bruxelles environnement



Ventilation par atrium – Source : energieplus-lesite.be

C VEGETALISATION ET FRAICHEUR DES ESPACES URBAINS

ENJEUX



Espaces verts et boisés public (*Source: IAUîdF, 2009*)

La réintroduction d'espaces naturels et plus largement du végétal en ville est une des solutions les plus efficaces pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain. La végétation permet de stabiliser la température de l'air par rétention de l'eau dans les feuilles et par évapotranspiration de l'eau à leur surface. Cela engendre à la fois une baisse de la température et une augmentation du taux d'humidité de l'air. L'ensemble de ces paramètres participe activement au rafraîchissement de l'espace urbain.

Ainsi, les zones boisées sont 2 à 8°C plus fraîches que le reste de la ville. La plantation d'arbres alignés ou isolés, les espaces plantés, les parcs urbains et les espaces naturels participent à cette réduction de l'intensité des îlots de chaleur en apportant de l'ombre et de la fraîcheur aux espaces publics.

La végétation a d'autres effets multiples qui permettent de lutter efficacement contre les îlots de chaleur urbains. Elle permet notamment de gérer les eaux de ruissellement de façon naturelle (**Voir D.**) et de réduire l'absorption de la chaleur dans le milieu urbain en combinant la réflexion d'une partie des rayons solaires et l'ombrage apporté par les feuillages.

La contribution spécifique d'un arbre en milieu urbain est primordiale. Outre la réduction des îlots de chaleur par le biais de l'évapotranspiration et l'absorption de l'énergie solaire, les arbres contribuent au maintien de la qualité de l'air par absorption de CO2 et le rejet d'O2 ainsi que la filtration des particules (**Voir A.**). Ils participent à la diminution du ruissellement de surface (**Voir D.**) et des polluants. Enfin, ils limitent la consommation énergétique des bâtiments lorsqu'ils sont associés à une architecture bioclimatique.

La présence du végétal en milieu urbain est donc essentielle car elle permet le maintien de la température à un niveau bas et limite ainsi largement l'effet d'îlot de chaleur urbain.

C VEGETALISATION ET FRAICHEUR DES ESPACES URBAINS

Le territoire et la ville

1 VEGETALISATION DU TERRITOIRE

Augmenter l'indice global de végétalisation de la commune

Une stratégie territoriale de végétalisation en milieu urbain a pour objectif d'augmenter l'indice global de végétalisation d'une ville. Cette augmentation passe par un développement diffus à l'échelle du territoire et de la ville. Des éléments structurant comme les espaces boisés, les parcs urbains et les jardins doivent être complétés par une végétation diffuse permettant de faire perdurer l'effet de refroidissement ressenti. Cette action passe par une stratégie territoriale de végétalisation qui favorisera la végétalisation :

- Des axes de transport (mails, avenues, lignes ferroviaires, plantations d'alignement…).
- Des emprises foncières publiques (espaces verts, espaces extérieurs des équipements publics…)
- Des terrains privés (pourtour des bâtiments, verdissement des pieds d'immeubles, façades végétalisées..) par une politique d'urbanisme incitative.

Ainsi, les arbres d'alignement feuillus participent à ombrager les rues mais aussi les façades d'immeubles, permettant ainsi aux logements de ne pas surchauffer. De même, les espaces verts, que ce soient de petits squares de quartiers ou de grands parcs urbains, fournissent aux citadins des lieux où l'on peut se rafraîchir lorsque la température de la ville est trop forte. La densification de ces éléments par une végétation diffuse permettra d'atteindre les objectifs du SDRIF, à savoir, dans les secteurs déficitaires en espaces verts, 10m² d'espaces verts publics par habitant.

Développer les continuités vertes et veiller à la sauvegarde des espaces verts

Comme la perte du couvert végétal contribue à l'augmentation de la chaleur en milieu urbain, la conservation et la création d'espaces verts, ainsi que le verdissement, sont essentiels. Il n'est pas question ici d'empêcher le développement urbain, mais de l'harmoniser aux besoins de la population en protégeant, entre autres, les milieux naturels, ou en recréant ceux qui ont disparu. Il s'agit d'une occasion de développer les continuités vertes existant sur le territoire et d'en tisser une trame verte.

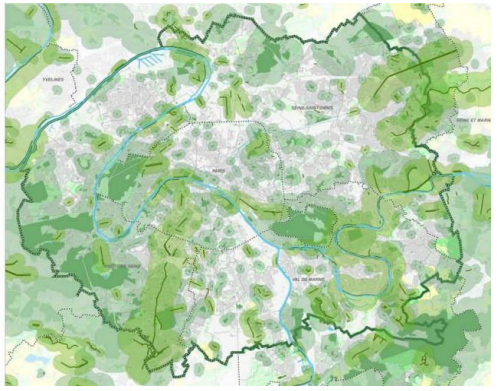
Favoriser l'implantation de grands espaces verts en amont des vents dominants

La bonne répartition et la préservation des espaces verts sont essentielles en milieu urbain. Bien repartis, ils doivent créer une trame verte continue à travers les villes et leur territoire, facilitant de même leur appropriation par les habitants. L'implantation de grands espaces verts en amont des vents dominants permet de pré-rafraîchir l'air en période estivale avant qu'il ne pénètre au sein de l'espace urbain. Une trame verte bien constituée participe à la réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain.

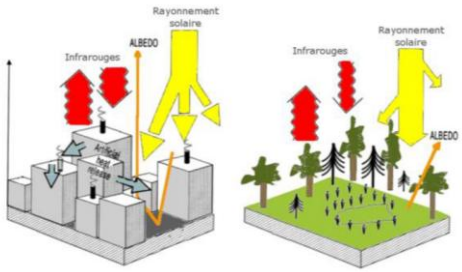
La coulée verte du Sud Est Parisien (Anthony)

Aménagement de la vallée du réveillon – Source : CG94

Coulée verte Créteil Santeny – Source : CG94



Desserte des espaces verts dans la Trame verte (Source : IAU)



Flux d'énergie zone urbaine/zone rurale
Source: Colombert, 2008

C VEGETALISATION ET FRAICHEUR DES ESPACES URBAINS

Le quartier et la rue

2 AIRES DE RAFRAICHISSEMENT ET MAILS PLANTES

Développer l'accès à des aires de rafraîchissement

Le rafraîchissement de l'espace urbain passe à l'échelle de chaque quartier par la création de diverses aires de rafraîchissement : aires de repos ombragées, installation d'étendues d'eau (bassins, fontaines, jets d'eau ou brumisateurs).

La végétation a un rôle important à jouer : elle participe à la protection solaire. Elle apporte un ombrage et crée un microclimat par évapotranspiration. Le choix des espèces est important car la qualité de l'ombre d'un arbre dépend de sa densité (Voir figure ci-contre). Ainsi, le feuillage d'un arbre peut filtrer de 60 à 90% du rayonnement solaire. Un tapis de végétation réduit également le rayonnement solaire réfléchi par le sol. Quel que soit le projet de verdissement, le choix de la verdure pour remplacer de l'asphalte ou du béton sera toujours plus bénéfique pour le rafraîchissement de l'espace.

Assurer la pérennité et la croissance des essences plantées

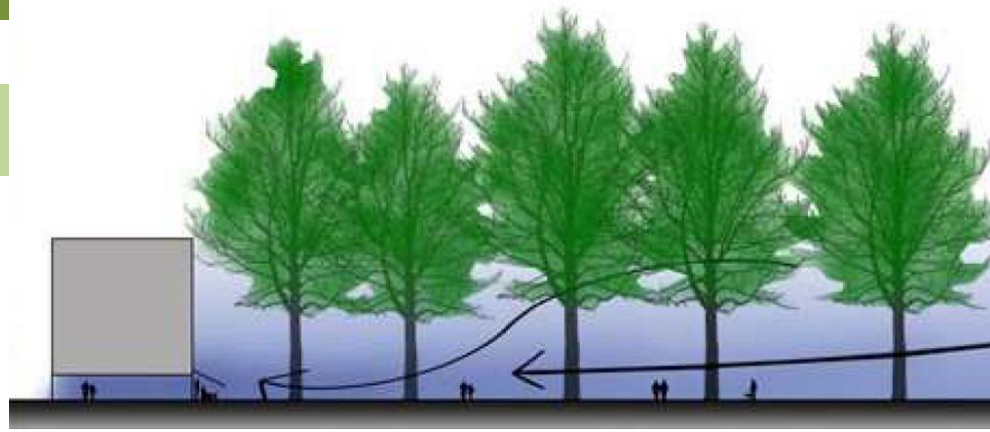
Pour que les arbres puissent fournir de la fraîcheur, leur bonne croissance est essentielle. Un développement en pleine terre ou en aménagements cellulaires adaptés est dans un premier temps à privilégier. Un arbre occupant un espace restreint dans le sol n'atteindra pas sa taille maximale et sa durée de vie en sera écourtée. Le choix d'espèces indigènes, tolérantes aux variations climatiques de la région parisienne et la pollution urbaine est aussi un paramètre primordial. L'application de ces recommandations permettra de pérenniser les aires de rafraîchissement qui viendront ponctuer la ville.

Végétaliser les aires de stationnements

Les stationnements, construits généralement avec du bitume, un matériau à faible *albédo* (Voir **E.**), contribuent au stockage de chaleur. La végétalisation d'une partie des aires de stationnement est une alternative à l'imperméabilisation pour réduire cet effet et participer au rafraîchissement du quartier. Ils représentent en effet un potentiel surfacique important. Cette mesure passe par :

- La végétalisation des pourtours des places de stationnements (bandes végétalisées, plantation d'arbres…)
- Le choix de revêtements semi-végétalisés pour les emplacements de stationnement (modules alvéolaires…)

Cela permet ainsi d'augmenter les surfaces d'évapotranspiration et de lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain. La qualité de l'air en est aussi améliorée (**Voir A.**). La question de l'entretien de ces espaces ne devra néanmoins pas être éludée afin de pérenniser leur action dans le temps.



Illustation des aires de rafraîchissement issue de balades urbaines - Source : Lo Giudice, 2008

Source : Hauraton France

Source : Ecovegetal

Source :Guide sur le verdissement

L'îlot et le bâtiment

3 PROTECTION ET VEGETALISATION DES FACADES

- **Protéger les bâtiments du rayonnement solaire estival par un feuillage caduc**

La conception architecturale des bâtiments se concentre généralement autour de la lutte contre le problème du froid (isolation, menuiseries…) en oubliant parfois le confort d'été. Ce confort d'été, primordial pour le confort thermique des occupants, passe par une architecture bioclimatique : se protéger du soleil (toiture débordante, casquettes, volets ou stores extérieurs), éviter le transfert de la chaleur par les matériaux et la dissiper en ventilant et en rafraîchissant les pièces (*Cf. figure ci-contre*).

La végétation a un rôle important à jouer dans la protection solaire. Elle procure de l'ombrage et réduit l'insolation directe sur les bâtiments et les occupants. Elle réduit plus localement la vitesse du vent et diminue les pertes par convection du bâtiment. Afin d'optimiser leur action, les arbres doivent être disposés sur les faces est, sud-est et ouest des bâtiments en s'assurant qu'ils soient assez grands pour ombrager les toitures en été. Une filtration d'au moins 60% du rayonnement solaire sur ces faces est recommandée. Le choix d'arbres caducs limitera l'ombrage au minimum pendant les autres saisons, maximisant ainsi les apports solaires nécessaires en hiver.

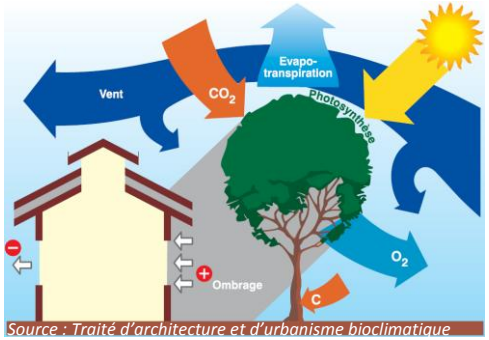
- **Végétaliser le pourtour des bâtiments et assurer une fraîcheur optimale**

De même, la végétation doit être intégrée aux zones bâties afin d'améliorer l'environnement immédiat de chaque construction. Par l'évapotranspiration, les températures ambiantes sont abaissées, le niveau d'humidité est amplifié et la ventilation naturelle canalisée. A ce titre, les arbres qui jouent le rôle de protection solaire doivent avoir un tronc élancé afin de ne pas freiner l'écoulement du vent.
Une bande d'au moins 3 mètres de large de végétalisation au sol ou d'écrans solaires sur les 2/3 de la périphérie du bâtiment est une protection efficace à l'ensoleillement direct (*source : label ECODOM*).

- **Favoriser la végétalisation des toitures et l'implantation de murs végétaux**

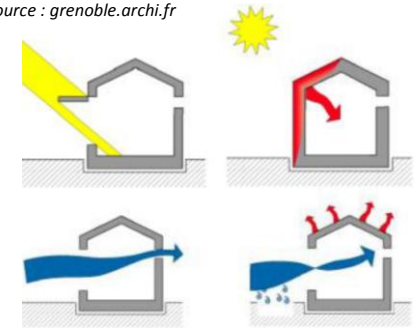
La végétalisation des toitures et des façades (plantes grimpantes ou murs vivants permet de réduire la quantité de chaleur transférée au bâtiment grâce à l'évapotranspiration et à l'ombrage créé et de rafraîchir l'air ambiant extérieur. Cela permet également d'amoindrir les grands écarts de température à l'intérieur du bâtiment grâce à l'augmentation de la masse thermique du bâtiment. Concernant les toitures, les types intensifs ou semi-intensifs sont à privilégier.

Ces installations végétales possèdent également d'autres avantages tels que la protection de l'enveloppe du bâtiment aux rayons UV, la captation des particules en suspension et la prévention des graffiti.



Source : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique

Source : grenoble.archi.fr

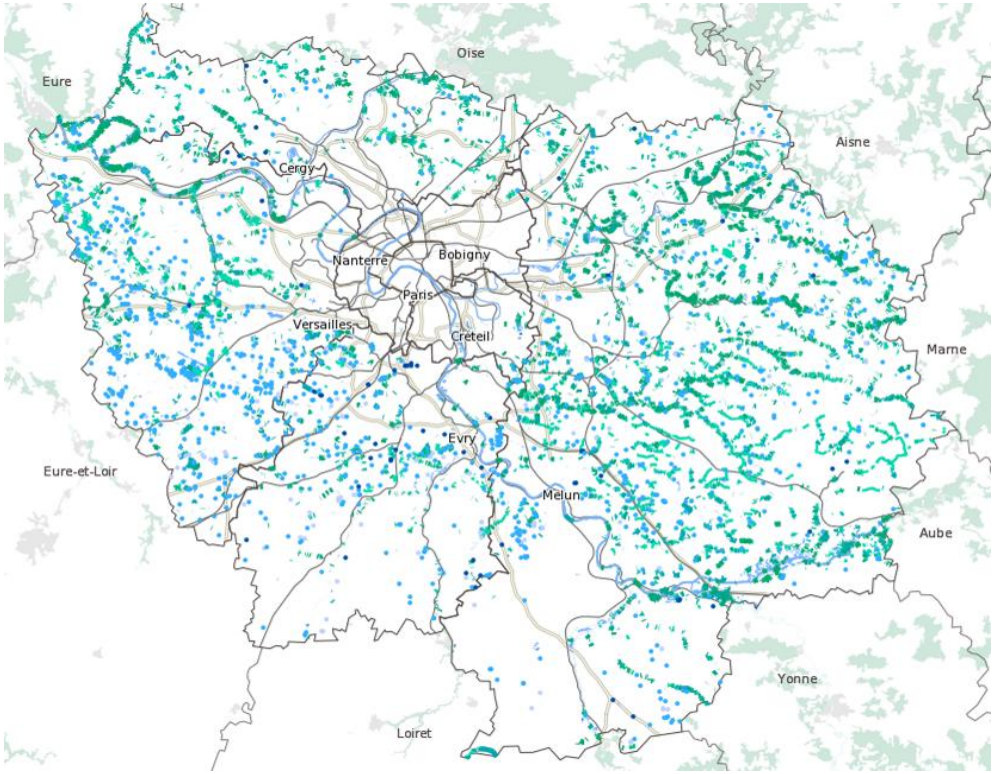


Toiture végétalisée en région parisienne

Mur végétal type mur vivant (Gare de l'Est)

D PERMEABILITE ET GESTION ALTERNATIVE DES EAUX PLUVIALES

ENJEUX



Trame Bleue - ECOLINE (*Source: IAUîdF*)

En lien étroit avec la végétalisation, la gestion des eaux pluviales est un moyen important de lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain. En effet, plusieurs études établissent une corrélation entre le taux d'humidité des sols et l'atténuation des îlots de chaleur urbains. Grâce à l'évapotranspiration, les sols humides ont des capacités semblables à celles de la végétation, et leurs températures de surface sont plus fraîches que celles des sols secs. Une hausse de la capacité de rétention d'eau de la ville et de l'évapotranspiration induite permet donc de diminuer les températures locales.

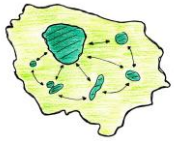
L'eau, par son inertie thermique élevée, atténue les fluctuations de température en retirant la chaleur à l'air (chaleur sensible) pour passer à l'état vapeur (chaleur latente), elle réduit ainsi la température ambiante. L'aménagement d'étendues d'eau permet ainsi de créer des microclimats et d'atténuer les variations de température.

Plusieurs pratiques de gestion alternative des eaux pluviales permettent de favoriser la présence d'eau en surface et l'humidification des sols en milieux urbains, ainsi une relation complémentaire avec la végétalisation est développée. Le développement de ces techniques favorise le traitement des eaux pluviales à petite échelle vers une gestion à la source, « au plus près d'où la pluie tombe ».

Un des objectifs de la gestion alternative des eaux pluviales est la diminution de la quantité d'eau de ruissellement produite. Il s'agit de ralentir son écoulement et ainsi de limiter la pollution induite. La diminution de la quantité d'eau ruisselée participe au même titre à limiter les répercussions sur les écosystèmes qui sont affectés par l'imperméabilisation des sols. Il y a donc lieu de développer des milieux urbains à la fois denses, moins imperméables en favorisant le développement de leur trame verte et bleue.

Le recours à des surfaces perméables participe à cette diminution des îlots de chaleur urbains et à une gestion durable des eaux pluviales. Ils favorisent les échanges thermiques liés à l'évapotranspiration et intègre une présence éventuelle de végétation et d'eau au sein de leur structure (drainant, alvéolaire…).

D PERMEABILITE ET GESTION ALTERNATIVE DES EAUX PLUVIALES



Le territoire et la ville

1 CYCLE NATUREL DE L'EAU (1/2)

- **Améliorer le cycle naturel de l'eau sur le territoire**

Lors des dernières décennies, la région parisienne a subi, comme l'ensemble des grandes métropoles, un phénomène d'étalement urbain augmentant la part des surfaces imperméabilisées constituées des rues, des zones pavées, des espaces de stationnement ou encore des emprises bâties. Par conséquent, les espaces boisés, les espaces verts, la végétation et les milieux humides sont en constante régression faisant place à l'imperméabilisation des sols, à la réduction de l'évapotranspiration et à l'augmentation des quantités d'eau ruisselées. L'équilibre du cycle naturel de l'eau s'en trouve ainsi modifié accentuant le phénomène d'îlot de chaleur urbain.

Afin de bénéficier du caractère rafraîchissant des zones humides, le cycle naturel de l'eau des milieux naturel doit être retrouvé. L'infiltration naturelle ou encore le ruissellement vers les cours d'eau par des cheminements végétalisés sont à favoriser. L'amélioration du cycle naturel de l'eau par un couvert végétal participe à la réduction de l'effet d'ilot de chaleur urbain en augmentant l'évapotranspiration ainsi qu'au maintien de la qualité des nappes phréatiques et des cours d'eau.

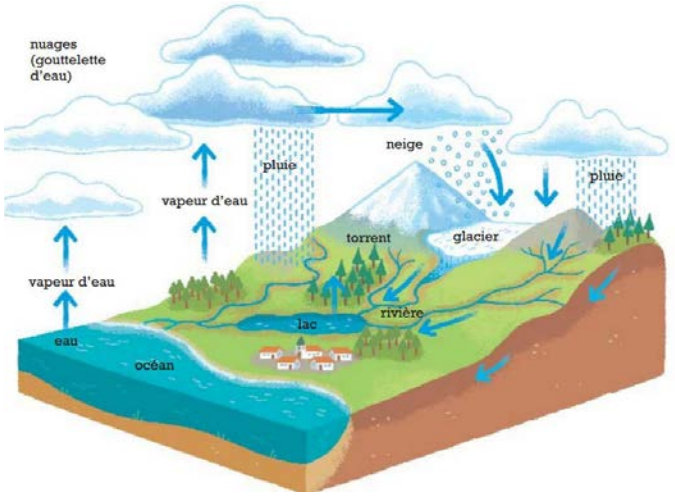
La présence de l'eau favorise en effet l'absorption de chaleur en retirant la chaleur de l'air lorsque l'eau liquide s'évapore abaissant ainsi la température et atténuant ses variations. Ce dispositif « climatisant » va de pair avec une ventilation efficace des étendues d'eau (Voir B) et la multiplication de ces masses d'eau au sein du territoire, car leur apport n'est bénéfique que dans un périmètre proche.

A l'échelle du territoire, l'objectif est de définir un cycle des eaux pluviales urbaines proche du cycle naturel en privilégiant la présence de l'eau sur le territoire, les gestions alternatives et leur intégration paysagère pour ainsi rendre plus diffus la délimitation entre le tissu urbain et le milieu naturel. La réouverture des cours d'eau imperméabilisés fait partie de ces opportunités de rafraîchissement.

- **Trame Bleue**

Le développement de la trame bleue participe à l'amélioration du cycle naturel de l'eau. Il s'agit de compléter et de renouveler les différents écosystèmes et zones humides du territoire : ruisseaux, rivières, lacs, milieux humides, forêts… qui participent à la gestion des eaux de ruissellement du territoire.

Les milieux humides ont l'intérêt de conserver les eaux de pluie pendant de longues périodes, aidant au développement des végétaux, à l'absorption des fortes pluies et donc à la réduction de l'effet d'ilot de chaleur urbain. Les zones humides sont des zones sensibles qu'il faut préserver à l'échelle du territoire. Elles jouent un rôle important dans le maintien de la vie en milieu urbanisé.

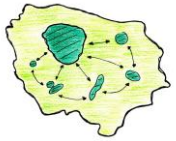


Le cycle de l'eau (Source : Aménagement et eaux pluviales – Grand Lyon)

Réouverture de la Bièvre dans le Parc de Fresnes
(Source: CA du Val de Bièvre)

Le chemin de l'eau (Source : CG 91)

La Bièvre à Cachan (*Source : Ville de Cachan*)



Le territoire et la ville

1 CYCLE NATUREL DE L'EAU (2/2)

- **Encourager la gestion alternative des eaux pluviales**

La gestion « classique » des eaux pluviales consiste à diriger les eaux pluviales vers un réseau de conduite souterraine à l'aide de puisards disposés sur les chaussées, les stationnements et les autres surfaces imperméabilisées qui récupèrent les eaux ruisselées. Après traitement, elles sont redirigées vers les cours d'eau de la région.

Une gestion alternative des eaux pluviales se préoccupe quant à elle de traiter les eaux pluviales à la source en veillant à leur qualité et protège ainsi les nappes souterraines et les cours d'eau récepteurs. Les eaux pluviales sont mises en valeur au sein du paysage urbain favorisant le développement d'écosystèmes. Leur gestion implique un maintien de l'eau sur site et un écoulement plus lent, favorisant ainsi l'évapotranspiration et l'infiltration naturelle. Cette approche permet de mettre en valeur le territoire tout en limitant les impacts environnementaux et en optimisant les investissements publics.

Les avantages d'une gestion alternative des eaux pluviales sont en effet multiples. Elle permet de limiter les coûts liés à la gestion du réseau d'assainissement et au traitement des eaux avant rejet, de mettre en valeur les milieux humides améliorant ainsi le cadre de vie et de réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain.

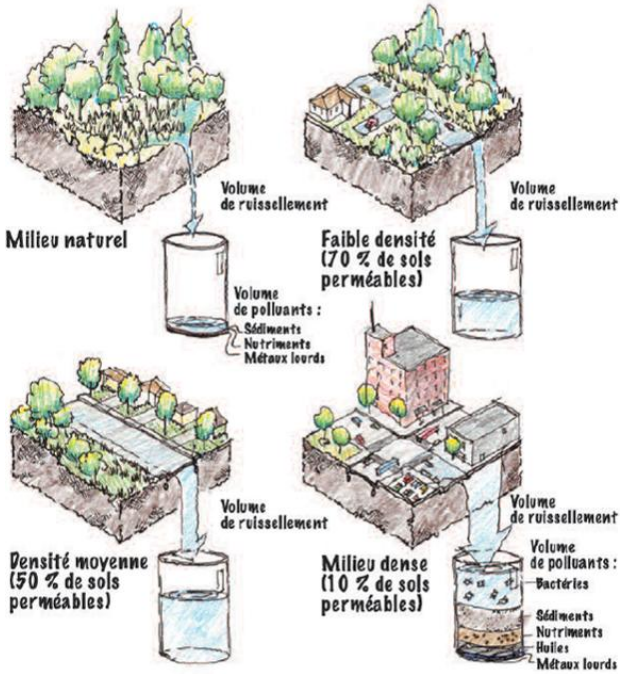
Une gestion durable des eaux pluviales passe par la mise en place d'une planification et d'une stratégie urbaine en ce sens favorisant les techniques alternatives et limitant l'imperméabilisation des sols.

- **Définir des exigences de débit de fuite à la parcelle**

Afin d'accentuer le recours à une gestion alternative des eaux pluviales, la définition d'exigence en matière de débit de fuite à la parcelle et sur l'espace public est indispensable. Elle favorise la mise en place d'ouvrages de rétention participant à la présence d'étendues d'eau en milieu urbain, la réduction des surfaces imperméables et le recours à une infiltration naturelle.

La définition d'une exigence de débit de fuite participe de plus à désengorger le réseau public souvent saturé lors des événements pluvieux. Cette exigence doit être définie au sein du règlement du Plan Local d'Urbanisme de chaque commune où au sein du cahier des prescriptions pour une opération de ZAC.

L'écoquartier de Bonne (Source : Ecoquartiers suivez le guide)



Volumes de ruissellement
(Source: La gestion durable des eaux pluviales)

Le quartier et la rue

2 RAFRAICHISSEMENT

Aires de rafraîchissement

L'accès et la proximité à des aires de rafraîchissement sont essentiels au sein des espaces publics. On distingue les aires aquatiques, les bassins, les brumisateurs ou plus récemment les miroirs d'eau (illustration ci-contre) qui permettent aux habitants de se rafraîchir. En privilégiant les procédés pulvérisateurs ou brumisateur, on augmente de même l'évapotranspiration en maximisant la surface de contact air-eau, et ainsi, on accentue le rafraîchissement de l'air ambiant.

A noter que l'efficacité de l'évaporation provoquée (brumisation, arrosage) est plus importante que par évaporation naturelle, mais bien plus grande consommatrice d'eau. On peut en minimiser la consommation en utilisant de l'eau de pluie, ressource « gratuite » peu exploitée.

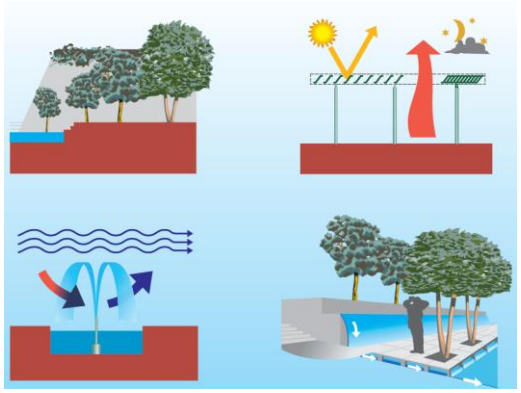
Arrosage des surfaces imperméables sur l'espace public

L'arrosage des surfaces imperméables, de préférence avec de l'eau non potable, est un moyen efficace pour réduire la température de surfaces minéralisées, perméables ou non. Les bouches de lavage, présentes notamment à Paris, peuvent servir à ce nouvel usage afin de rafraîchir les voiries du quartier.

Une expérience au Japon a montré que la consommation d'eau pour le rafraîchissement de l'espace public n'excède pas 2L/m²/h pendant 4 h pour un rafraîchissement de l'ordre de 2 à 4 °C.

Base de loisir à Cergy-Pontoise (*Source : Bords-de-Seine.com*)

Jets d'eau sur la place Rapp à Colmar
Source : Ruch MP/AUDAL



Techniques utilisées à Séville en 1992 (arch. JL de Asiain) [*Source : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique]*

Brumisateur naturel (*Source : Lo Giudice, Marquet, 2008*)

Le quartier et la rue

3 PERMEABILITE ET COEFFICIENT DE RUISSELEMENT

- **Réduire le coefficient de ruissellement du quartier en maximisant les surfaces de pleine terre et en ayant recours à des revêtements perméables**

Afin de favoriser l'infiltration naturelle des eaux pluviales et l'humidification des sols, il s'agit de maximiser les espaces de pleine terre d'un quartier et de privilégier le recours à des revêtements poreux ou perméables. On distingue différents revêtements permettant la bonne infiltration de l'eau dans le sol : les dalles avec joint perméable, les revêtements poreux (béton, dalle…) et les structures alvéolaires permettant l'engazonnement (**Voir C.2**).

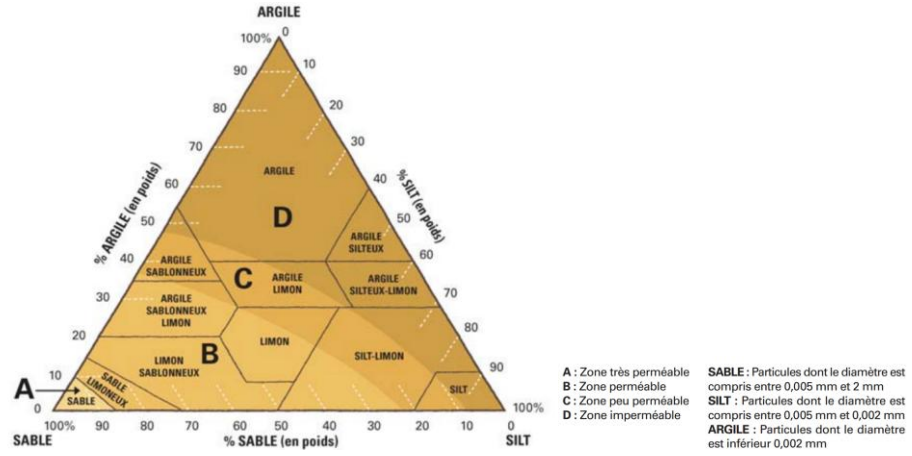
Lorsque cela est possible, la largeur des voies de circulation d'un quartier peut être réduite afin de diminuer les surfaces minéralisées au profit de surfaces végétalisées. Les chaussées sont en effet responsables d'une grande partie des eaux de ruissellement. La mise en place de chaussées drainantes est une solution.

A l'échelle du quartier, la notion de coefficient de ruissellement est à considérer. Le coefficient de ruissellement varie selon les surfaces (Voir **Annexe**), plus il est élevé, plus le ruissellement est important et moins l'infiltration naturelle est élevée. Ce coefficient est influencé par l'imperméabilisation des surfaces et par les éléments de végétation. L'atteinte d'un coefficient de ruissellement peu élevé est à rechercher.

- **A l'échelle des espaces publics, favoriser l'infiltration des eaux pluviales au plus proche d'où elles sont tombées**

L'humidification des sols joue un rôle majeur dans le rafraîchissant de l'air ambiant pour la lutte contre les îlots de chaleur urbains. Le principe de la gestion alternative des eaux pluviales (**Voir** ci-après **D.5**) est donc de freiner le parcours de l'eau de pluie pour augmenter l'infiltration naturelle des espaces urbains en limitant leur ruissellement et en favorisant l'évapotranspiration. L'effet d'îlot de chaleur provoque de plus une augmentation de l'intensité des précipitations qui engendre la saturation des réseaux lors des événements pluvieux importants.

L'infiltration naturelle des eaux pluviales au plus proche de leur lieu de production joue ici un rôle capital. L'aménagement de noues, d'espaces végétalisés, de zones humides et de revêtements poreux doit donc être privilégié car il permet de limiter la quantité d'eau ruisselée (**Voir** ci-après **D.5**).



Triangle de corrélation entre la texture du sol et sa perméabilité (Source : Aménagement et eaux pluviales – Grand Lyon)

Exemple de revêtement poreux (*Source : CG 92*)

Exemple de places de parking enherbées non étanches (Source : Aménagement et eaux pluviales – Grand Lyon)

Rives de la Haute Deûle à Lille – Atelier Pranlas-Descours – Atelier de paysages Bruel-Delmar (Source : Ecoquartiers suivez le guide)

Le quartier et la rue

4 TECHNIQUES ALTERNATIVES

Gérer les eaux pluviales avec des techniques alternatives de surface

À l'échelle d'un quartier, plusieurs techniques alternatives de gestion des eaux pluviales peuvent être combinées. L'objectif est de permettre une intégration paysagère favorisant la végétalisation, d'augmenter l'infiltration des eaux à proximité et de favoriser la filtration naturelle. On distingue :

- *Les bassins de rétention*

Deux types de bassin à ciel ouvert peuvent être mis en œuvre : les bassins en eau et les bassins secs. L'un conserve de l'eau en permanence et offre une étendue d'eau permanente rafraîchissant ainsi l'air ambiant. L'autre est mis en eau ponctuellement en cas de fortes pluies. Les bassins ont l'avantage de pouvoir être intégrés à un espace public ou paysager. Le bassin en eau permettra le développement de végétaux spécifiques et notamment de plantes aquatiques filtrantes limitant ainsi la pollution de l'eau avant un rejet éventuel ou avant leur infiltration (phyto-épuration ou phyto-remédiation).

On notera que les dispositifs de stockage type bassin de rétention et noue présentent un entretien plus simple que des ouvrages enterrés.

- *Les drains et les noues paysagères*

Les drains et les noues permettent d'acheminer l'eau naturellement en surface. Les noues, ou fossés engazonnés, permettent aussi le stockage, le traitement et l'infiltration éventuelle des eaux pluviales. Les noues sont végétalisées et comportent généralement un fond drainant constitué de sols perméables. Combinées à certains végétaux, les eaux de ruissellement peuvent être filtrées. Végétalisées et permettant le stockage de l'eau de pluie, les noues participent au rafraîchissement local d'une rue, d'une cour ou d'un espace public.

- *Les puits d'infiltration*

Les puits d'infiltration recueillent les eaux de ruissellement et permettent leur infiltration dans le sol. Ils sont utilisés notamment pour recueillir les eaux de ruissellement des toits. Leur conception est simple et demande peu d'espace au sol.

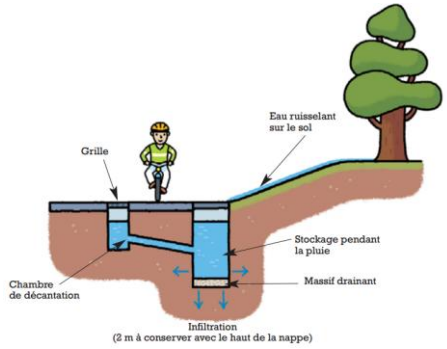
- *Les chaussées à structure réservoir*

Les chaussées à structure réservoir sont constituées de pavés poreux favorisant l'infiltration de l'eau à la source. Elles ont un albédo plus élevé que le bitume et emmagasinent ainsi moins de chaleur que ce dernier. Associé à un drain, elles permettent d'acheminer les eaux vers un ouvrage de rétention.

- *Les toitures végétalisées* (**Voir D.6**).

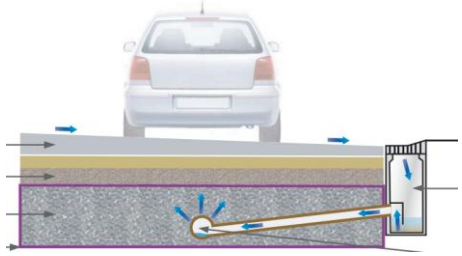
Secteur du Trapèze – SAEM Val de Seine – Patrick Chavannes et Thierry Laverne (Source : H. bbadie - SAEM Val de Seine)

Source : Mairie de Paris – DU – MCC – J.Leroy



Puits d'infiltration (Source : Grand Lyon)

Noues végétalisée à Nanterre (*Source : CG 92*)



Coupe d'une chaussée à structure réservoir (*Source : SEPIA Conseil)*

D PERMEABILITE ET GESTION ALTERNATIVE DES EAUX PLUVIALES

L'îlot et le bâtiment

5 INFILTRATION IN SITU

- **Favoriser l'infiltration in situ des eaux pluviales**

Les stratégies et techniques de gestion des eaux pluviales développées précédemment (**Voir D.4** et **D.5**) peuvent être appliquées à l'échelle d'un îlot ou d'une parcelle. Les superficies bâties doivent à ce titre être minimisées afin de maximiser les surfaces perméables. Les toitures végétalisées peuvent également être développées (Voir ci-après).

L'eau des toitures peut être récupérée et acheminée vers des aménagements de rétention ou d'infiltration : bassins à ciel ouvert, noues, puits d'infiltration… De manière générale, les surfaces imperméables au sol (stationnements, terrasses, cheminements minéralisés…) doivent être réduites pour privilégier la végétalisation des espaces et l'utilisation de revêtements perméables. Avant toute construction, un état faune-flore du site doit identifier le couvert végétal et les arbres qui peuvent être préservés.

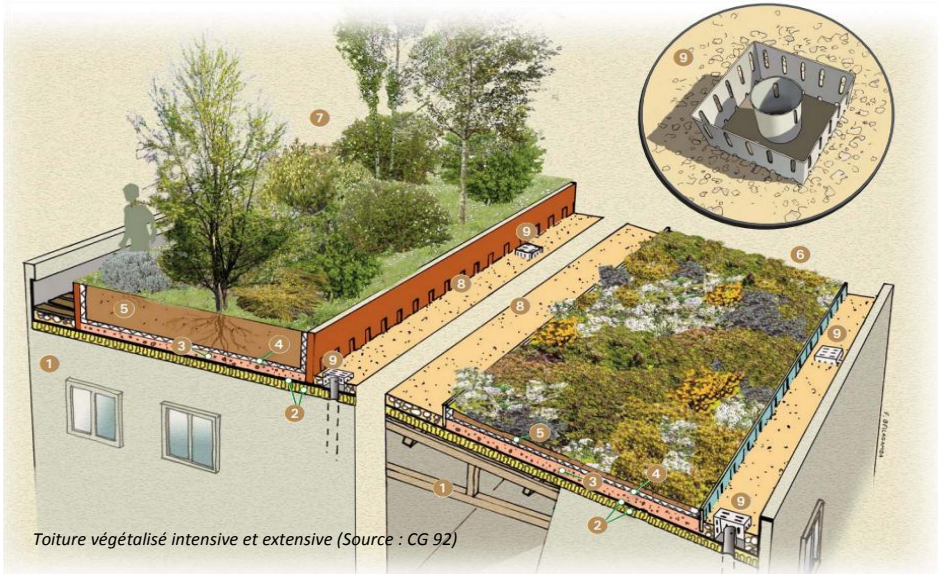
L'infiltration des eaux pluviales sur site ne pourra néanmoins être mise en place que lorsque les caractéristiques de sols (perméabilité des sols, pollution, risque de dissolution du gypse, anciennes carrières) auront été déterminées et auront validé sa faisabilité.

- **Encourager la mise en place de toitures végétalisées**

Les toitures végétalisées sont une solution efficace pour rafraîchir les toitures et l'air ambiant par évapotranspiration. Elles ralentissent et diminuent l'évacuation des eaux pluviales en retenant une quantité appréciable d'eau de pluie qui permet de compenser la perte de couvert végétal du bâtiment au sol. De plus, la végétalisation des toitures améliore la qualité de l'air (**Voir A**) et réduit la demande énergétique liée à la climatisation (**Voir F**).

- **Privilégier l'emploi de revêtements poreux ou perméables pour les espaces extérieurs**

A l'instar des revêtements préconisés à l'échelle du quartier (**Voir D.4**), le choix de revêtements perméables ou poreux est à privilégier pour les stationnements et les cheminements présents au sein des l'îlot ou des parcelles bâties.

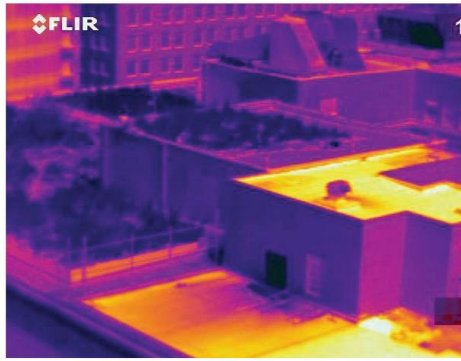


Toiture végétalisé intensive et extensive (Source : CG 92)

Puits d'infiltration

Fossés et noues

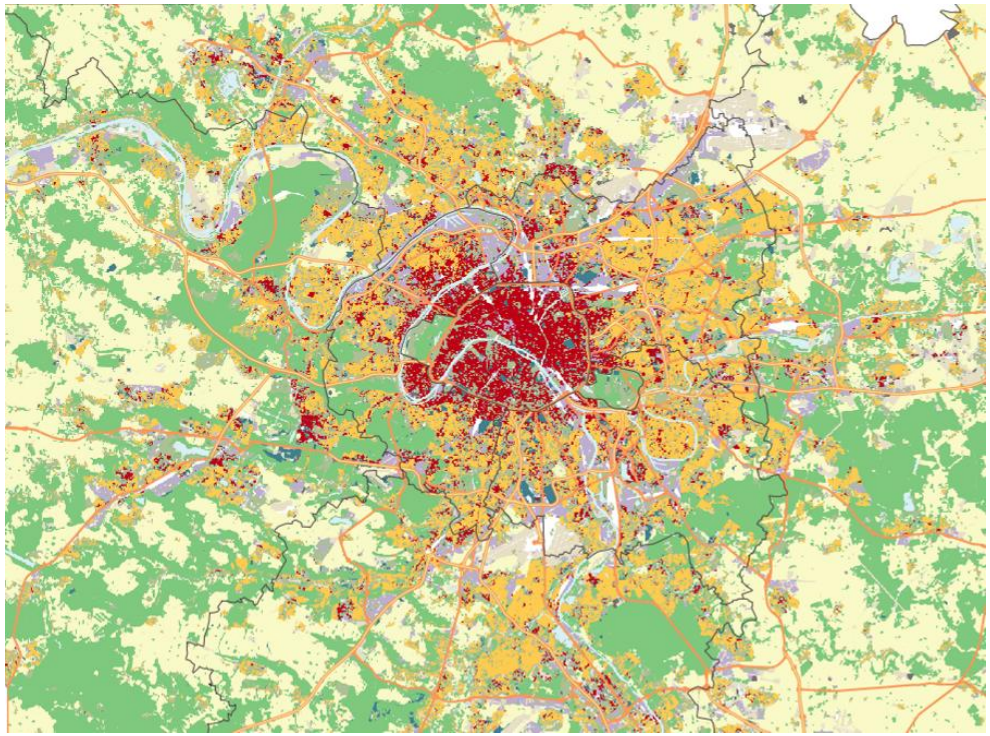
(Source : Aménagement et eaux pluviales – Grand Lyon)



Mesure de la différence de température entre une toiture classique et une toiture végétalisée (*Source : Report US EPA*)

E MATERIAUX ET INFRASTRUCTURES

ENJEUX



Occupation du sol 2008 simplifiée (*Source: IAUîdF*)

Il a été estimé que les surfaces foncées pouvaient représenter plus de 40% de la superficie d'une ville. Très fréquemment de l'asphalte ou du béton, ces revêtements ont un albédo très faible ce qui signifie qu'ils réfléchissent peu les rayons du soleil et emmagasinent de la chaleur. Il en résulte une élévation de la température ambiante, typique de l'effet d'îlot de chaleur urbain.

A l'échelle de la ville, la préoccupation réside dans la hausse des températures la nuit caractéristique des îlots de chaleur et provoquant des problèmes sanitaires. L'organisme ne pouvant à aucun moment se rafraichir en période de fort chaleur. Il s'agit de limiter la chaleur dégagée par la surface des villes et des matériaux extérieurs qui la composent.

Une des mesures efficaces pour lutter contre cet effet est d'agir directement sur les infrastructures, les revêtements et les matériaux qui constituent la ville. Le recours à des matériaux à albédo élevé, réfléchissant ou clairs, permet de diminuer cette accumulation de chaleur et de réduire ainsi les îlots de chaleur urbains. Des mesures simples comme les revêtements des espaces publics légèrement colorés ou blanc participent à l'augmentation de l'albédo globale d'une ville.

A l'échelle des bâtiments, une autre propriété des matériaux influe le confort des habitants en milieu urbain: l'inertie thermique. L'inertie thermique d'un matériau caractérise sa capacité à différer la restitution de la chaleur emmagasinée. Ils ont un rôle important dans les enveloppes bâties et les consommations énergétiques qui en découlent. Le choix des matériaux suivant leur inertie permet de limiter l'utilisation de la climatisation (**Voir F**) en période de forte chaleur. Face à l'effet d'îlot de chaleur, l'enjeu réside dans la capacité des bâtiments et des matériaux qui le composent à emmagasiner de la chaleur le jour et à la restituer de manière déphasée la nuit, période généralement plus fraiche. Ceci permet au bâtiment de garder une température stable en période de chaleur et offrir ainsi aux habitants plus de fraîcheur « gratuite ».

E MATERIAUX ET INFRASTRUCTURES

Le territoire et la ville

1 ALBEDO ET EMISSIVITE

- **Augmenter l'albédo et l'émissivité globale de la commune**

A l'échelle du territoire et de la ville, il s'agit de limiter la part de surface foncée à faible albédo de la superficie de la ville. Ceci passe dans un premier temps par l'augmentation du couvert végétal constituant la ville mais aussi par le choix de matériaux réfléchissant à fort albédo (Voir liste de matériaux en **Annexe**) avec une émissivité élevée.

Les surfaces de stationnement, les chaussées, les matériaux imperméables constituant l'espace public et enfin les toitures sont les premières cibles pour un choix de matériaux raisonné. Plus ces matériaux ont une réflectivité (albédo) et une émissivité élevée moins ils emmagasinent de la chaleur et moins ils participent au réchauffement de l'espace urbain.

On privilégiera les matériaux performants mais aussi un choix des pigments de couleur claire car la couleur agit sur la réflectivité des surfaces concernées.

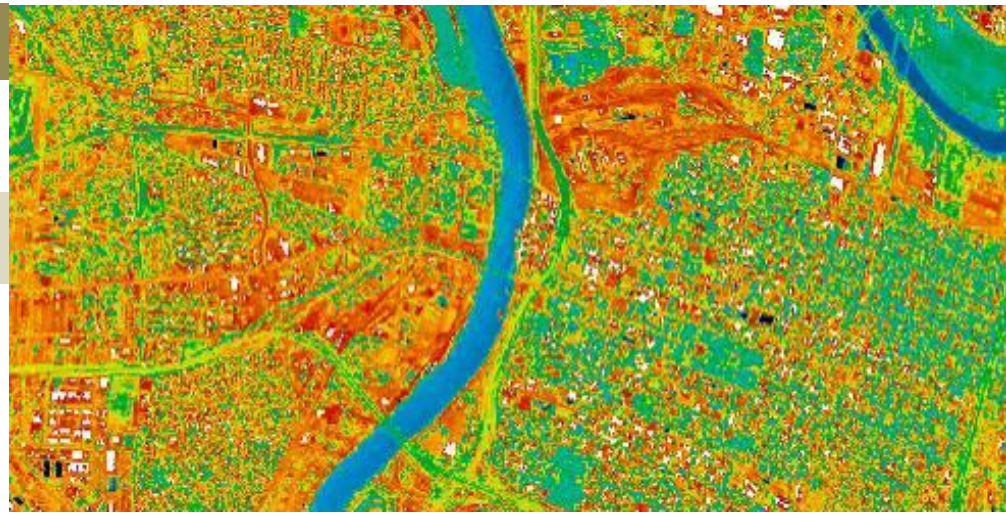
Afin d'agir plus efficacement sur le territoire, il est possible de cibler les surfaces emmagasinant le plus de chaleur grâce à une thermographie du territoire ou de certains quartiers de la ville en été.

L'ensemble de ces actions permettra d'augmenter l'albédo et l'émissivité globale du territoire.

- **Réaliser une thermographie aérienne du territoire**

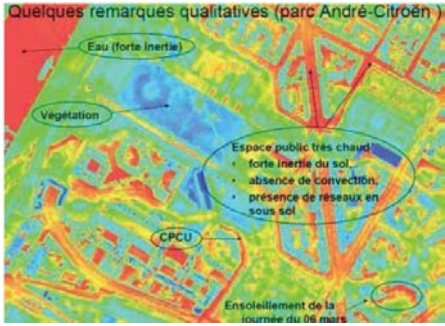
La thermographie aérienne par infrarouge est une technique de mesure des températures à distance. Elle permet d'établir un indicateur des déperditions thermiques des bâtiments d'une part mais aussi de mesurer la température des surfaces composant l'espace public. La précision de mesure est de l'ordre du dixième de degré. Cette mesure permet d'identifier les points prioritaires d'intervention et d'agir de façon ciblée sur le territoire. Cette action permet également d'identifier les bâtiments les plus énergivores et d'initier par la suite leur réhabilitation thermique (**Voir D.3**).

On distingue ainsi les thermographies d'été et les thermographies d'hiver. En hiver, la thermographie est effectuée de nuit pour évaluer les déperditions thermiques et ne tient pas compte du réchauffement des matériaux par le soleil. En été, la thermographie mesure la capacité des matériaux à surchauffer.



Thermographie aérienne de Sacramento
(*Source : NASA/Marshall Space Flight Center and Global Hydrology and Climate Center)*)

Thermographie aérienne (*Source : APEI, www.apei.fr*)



Analyse de thermographie aérienne de Paris
(*Source : APUR, 2010)*

Thermographie aérienne du 7e arrondissement (*Source : APUR, 2010*)

Le quartier et la rue

2 SURFACES CLAIRES

Augmenter l'albédo des surfaces minéralisées

L'asphalte, le béton et le granit sont des revêtements qui accumulent l'énergie solaire en journée et restitue la chaleur emmagasinée la nuit. Ces matériaux, imperméables et sombres, sont de véritables réservoirs de chaleur qui accentuent l'îlot de chaleur urbain. La couleur, la rugosité et les dimensions des matériaux utilisés en surfaces jouent un rôle important dans la capacité à absorber les rayonnements solaires. Afin de lutter contre l'effet d'îlot de chaleur, cette absorption doit être limitée.

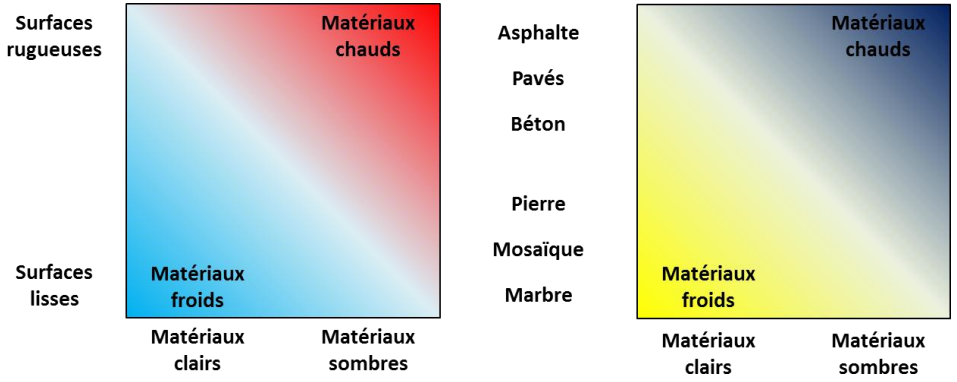
Le choix des matériaux de surface en fonction de leur albédo permet de lutter contre ce phénomène. Les matériaux à albédo élevé ont la capacité de réfléchir davantage les rayons plutôt que de les absorber. L'absorption de la chaleur est influencée par le type de matériau ainsi que par sa couleur. Les surfaces de couleur pâle, comme le gris, sont à privilégier. Des écarts de température pouvant aller jusqu'à 20°C ont été constatés entre une surface asphaltée et une surface peinte en blanc.

L'illustration ci-contre confirme ce constat avec une mesure de température entre différents matériaux de revêtement possédant des albédos différents.

Des techniques spécifiques permettent d'améliorer l'albédo des surfaces minéralisées existantes, notamment :

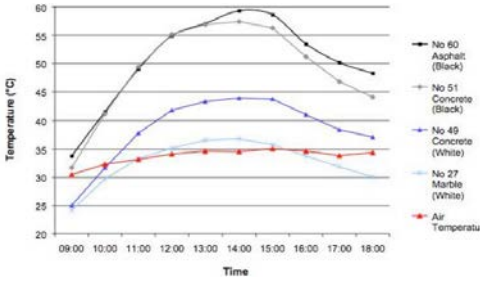
- Les pavés inversés consistent à étendre une fine couche de bitume sur laquelle est disposé un granulat à haut albédo,
- L'asphalte et le béton coloré qui par l'ajout de pigments réfléchissant permettent d'augmenter la réflectivité. Très répandu, l'asphalte noir est à proscrire du fait de sa couleur très foncée, il a un albédo très faible.
- Une couche superficielle de béton appliquée sur une chaussée de bitume, le béton ayant un albédo plus élevé avec des températures de surface plus fraîche.

Ces techniques peuvent être en particulier appliquées pour la voirie et les espaces publics.

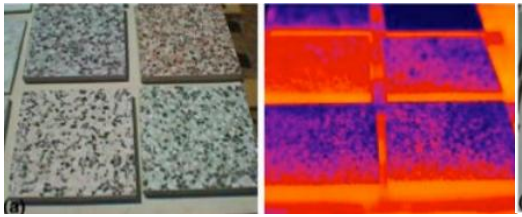


Chaleur caractéristique des matériaux [2]

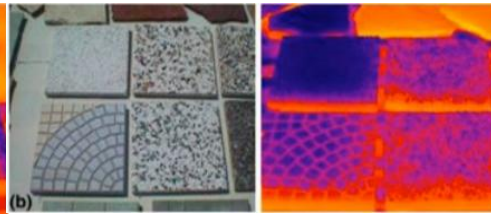
Exemple de mesures et comparaison des différences entre la température de surface du matériaux et l'air [1]



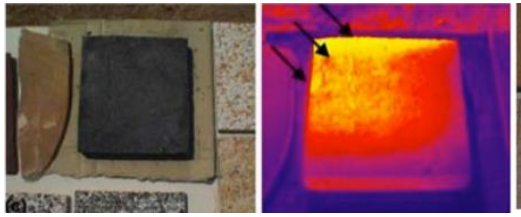
Variation des températures moyennes de surface au cours de la journée [1]



Cantraste de température dans la couleur [1]



Différences de rugosité [1]



Phénomènes de transfert de chaleur [1]

([1] source : Doulos, L; Santamouris, M; Livada, I; passive cooling of urban spaces. The role of materials solar energy, 2004)outdoor

Le quartier et la rue

3 REVÊTEMENTS PERMEABLES

Favoriser les matériaux perméables

Le choix de matériaux perméables permet d'humidifier les surfaces minéralisées et parfois de végétaliser *a minima* ces surfaces. Les matériaux à bas albédo sont, de plus, généralement imperméables et ne participent pas à une gestion durable des eaux pluviales (**Voir D**).

On distingue plusieurs types de revêtements perméables permettant d'augmenter l'albédo :

Les *pavés végétaux* sont installés sur le sol et permettent à la végétation de pousser à travers leurs alvéoles. Ils permettent l'écoulement des eaux de pluie et protègent les racines. D'une conception très résistante, ils permettent la circulation de véhicules.

Les *asphaltes poreux* mélangeant des granulats grossiers libèrent l'espace nécessaire à l'écoulement des eaux, offrant au sol une meilleure hydratation. De même en intégrant un gravier de gros calibre au *béton.*

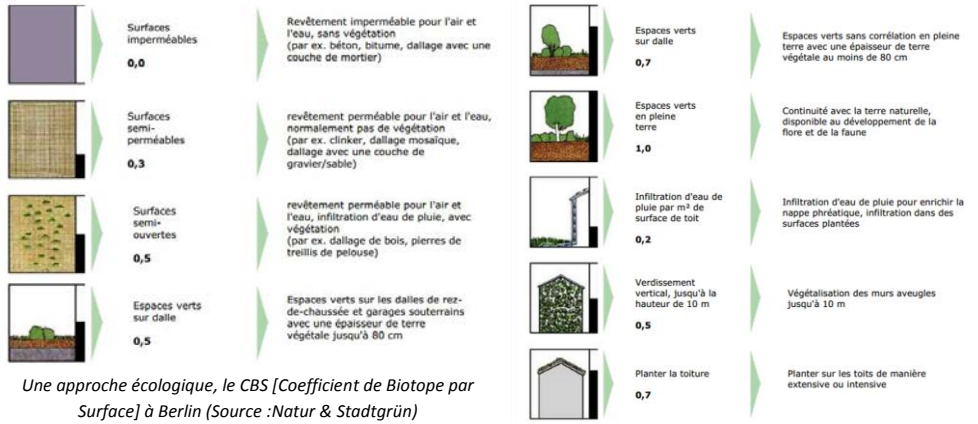
Des *dalles imperméables* disposées les unes à côté des autres laissant percoler l'eau de pluie dans des joints perméables. Ce dispositif convient particulièrement aux espaces publics (rues piétonnes, cours, place, stationnement…).

Les *structures engazonnées* par leur forme alvéolée permettent la végétalisation et supportent des charges lourdes comme par exemple sur les aires de stationnements.

Revêtements perméables non souples (Source : solsetjeux.com)

Collège Ernest Renan CG44 – AURA (Source : aura-architectes.com)

Béton poreux



Une approche écologique, le CBS [Coefficient de Biotope par Surface] à Berlin (Source :Natur & Stadtgrün)

L'îlot et le bâtiment

4 ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

Suivre les principes de l'architecture bioclimatique

En été, la surchauffe des bâtiments pousse à l'utilisation des climatiseurs qui rafraîchissent l'air intérieur mais dégagent de la chaleur à l'extérieur (**Voir F**) augmentant ainsi l'îlot de chaleur.

Une conception bioclimatique, pour un bâtiment neuf ou une réhabilitation d'un bâtiment existant, permet de protéger les bâtiments des surchauffes en période estivale et donc de limiter l'utilisation des climatiseurs. Sont pris en compte l'orientation du bâtiment, le confort thermique et la conception de l'enveloppe pour laquelle le choix des matériaux est primordial. Le choix concernant l'isolation, l'étanchéité, l'inertie thermique (voir ci-après), les baies vitrées ou encore les protections solaires sont indispensables pour assurer le confort d'été des bâtiments.

Le choix des matériaux de construction en fonction de leur albédo peut également contribuer à lutter contre les îlots de chaleur.

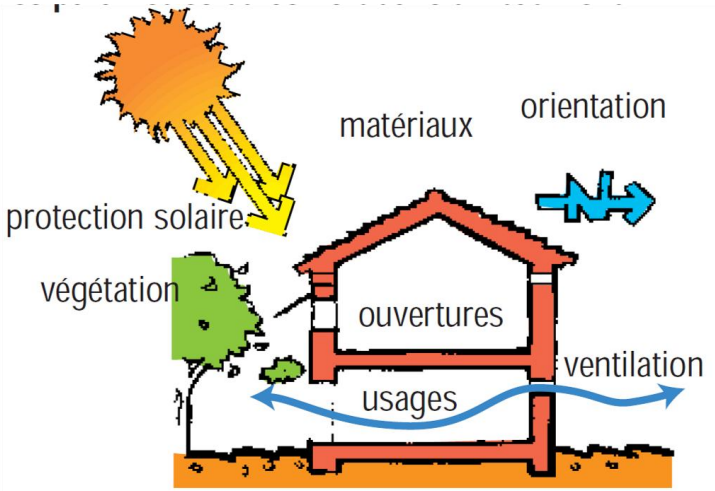
Intégrer l'inertie thermique dans le choix des matériaux

L'inertie thermique d'un matériau mesure sa capacité à accumuler de la chaleur et à en différer la restitution après un certain temps (temps de déphasage).

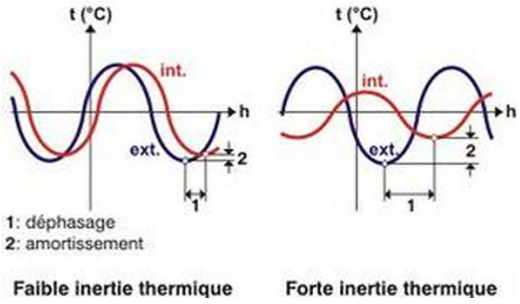
Les matériaux à forte inertie permettent d'emmagasiner et de stocker la chaleur, évitant qu'elle ne se retrouve dans l'air ambiant. La chaleur contenue dans les matériaux de forte inertie ne sera restituée à l'environnement que six à dix heures après que ceux-ci aient commencé leur stockage, soit vers la fin de la journée, au moment où il sera possible de faire entrer de l'air plus frais dans les bâtiments. Les matériaux ayant une bonne inertie thermique sont par exemple la pierre, le béton, la terre crue et la brique.

Pour maximiser le potentiel de fraîcheur qu'offre une forte inertie des matériaux à l'intérieur des bâtiments, il serait idéal de placer les parois à forte inertie là où il y a de l'ensoleillement et veiller à ce qu'au moins 50 % des parois des pièces soient à forte inertie. Une forte inertie thermique permet d'éviter les surchauffes en conservant la fraîcheur de l'air nocturne pendant toute la journée, tout en gardant la fraîcheur dans le bâtiment grâce à une bonne isolation et une bonne étanchéité.

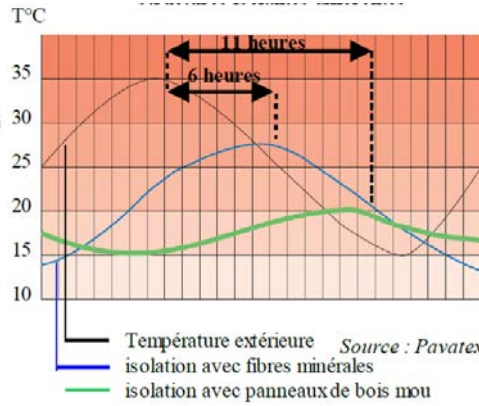
L'isolation par l'extérieur, lorsqu'elle est possible, permet de conjuguer une bonne isolation thermique en hiver et une bonne inertie thermique favorisant le confort d'été en limitant le recours au rafraichissement actif comme la climatisation.



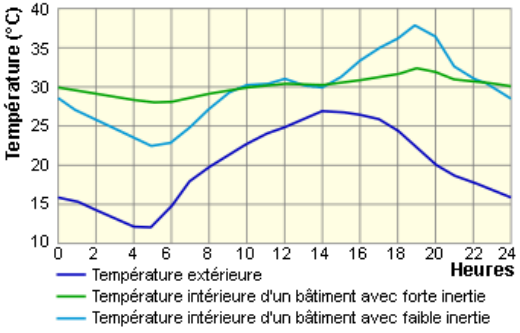
Les paramètres du confort en été dans un bâtiment (Source : Confort d'été en PACA)



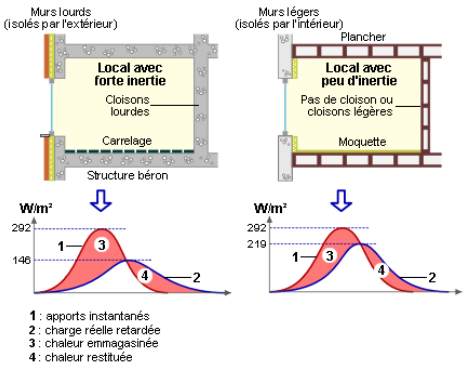
Inertie thermique d'un matériau (Source : energieplus-lesite.be)



Evolution des températures sous toiture pour des structures isolantes différentes (Source : Pavatex)



Evolution des températures lors d'une journée d'été dans un bâtiment à forte et à faible inertie (Source : energieplus-lesite.be)



L'îlot et le bâtiment

5 COOLROOF

Privilégier les toitures blanches (Coolroof)

A l'échelle bâtimentaire, les toits sont les surfaces les plus exposées aux rayonnements du soleil. Récemment des matériaux de revêtement de toiture ont été développés pour lutter spécifiquement contre l'effet d'îlot de chaleur urbain. Des produits comme les membranes élastomères ou polyurées, les tuiles et graviers pâles sont des matériaux à haut albédo qui peuvent s'appliquer en toiture.

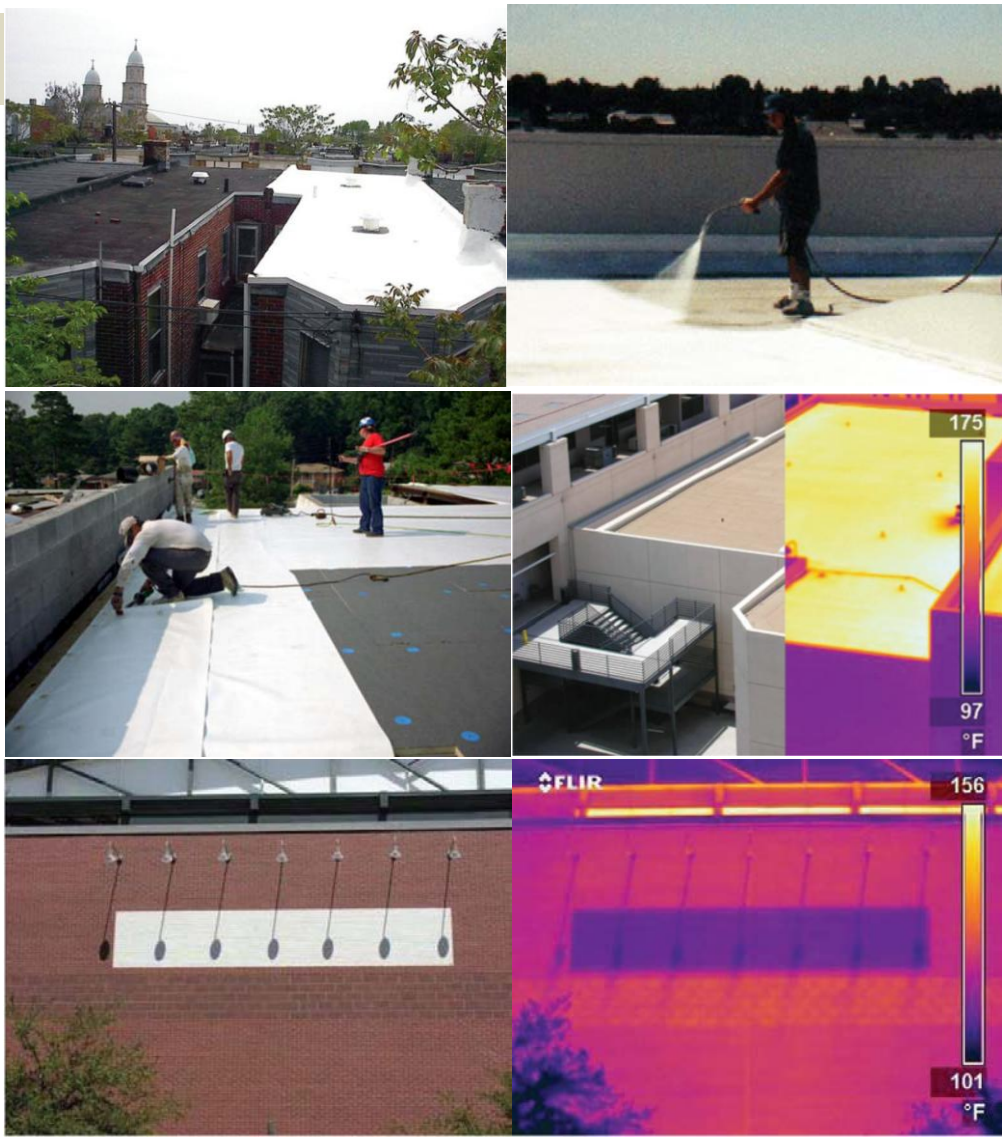
Les *membranes réfléchissantes* ont une durée de vie deux à trois fois supérieure à un toit conventionnel avec un taux de réflexion de 80%.

Les *enduits réfléchissant*, revêtement apparenté à la peinture, s'appliquent sur les toits de bitume conventionnels avec un rouleau ou une brosse et augmentent ainsi la réflectivité des toitures.

Les *graviers blancs* s'installent sur une toiture conventionnelle et ont une qualité de réflexion intrinsèque.

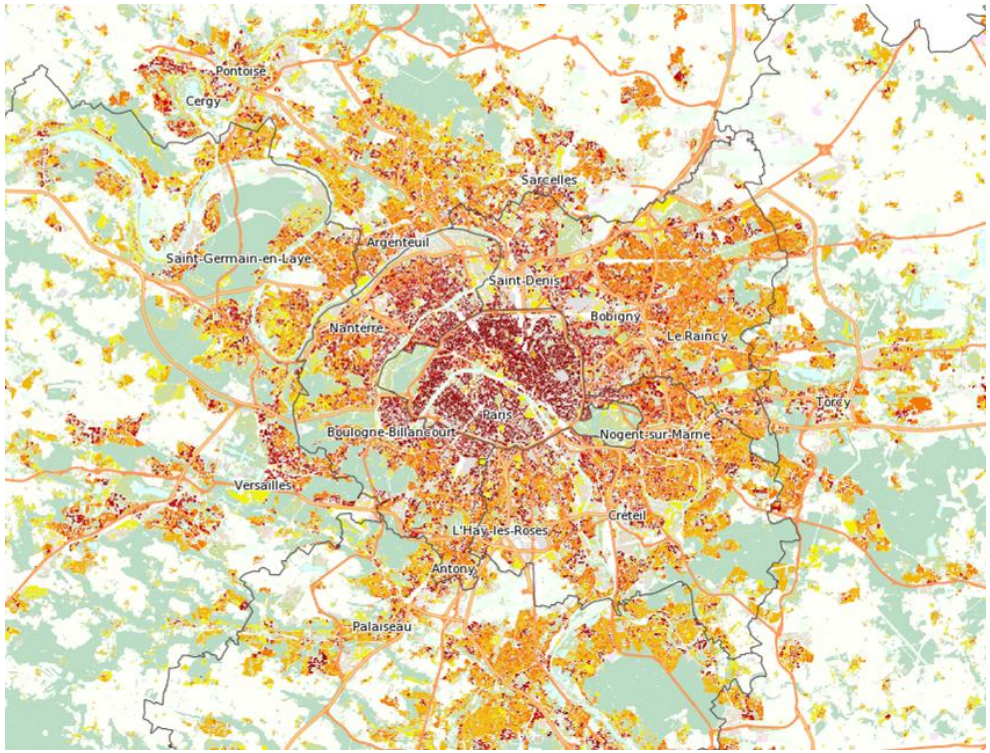
L'utilisation de ces matériaux est recommandée pour les toits plats uniquement car installés sur un toit en pente ils peuvent créer un éblouissement.

De même que pour les toitures, le choix de revêtement pâle ou d'une peinture blanche pour les murs est et ouest, particulièrement frappé par le soleil en été, permet de diminuer la chaleur de l'air avoisinant et des habitations.



Différence d'albédo et température de surface (*Source : Report US EPA*)

F DEGAGEMENTS ANTHROPIQUES



Densités de population [hab/ha] (*Source :IAUÎdF*)

Les émissions de gaz à effet de serre sont un facteur aggravant des îlots de chaleur urbains. Ces émissions sont causés principalement par des activités de nature anthropique : l'activité industrielle, la consommation énergétique des bâtiments et des habitations ou encore les transports.

Le *Livret Vert* du Plan Régional pour le Climat rapporte que les secteurs résidentiels et tertiaires sont responsables de près de 35% des émissions de gaz à effet de serre (GES) en Ile-de-France. Les émissions de GES participent au réchauffement global de l'atmosphère. A l'échelle urbaine, les émissions de chaleur sont les causes de l'îlot de chaleur urbain. Elles sont principalement dues aux émissions à l'intérieur des bâtiments et par l'utilisation d'appareils électroménagers, bureautiques ou encore de climatiseurs. Ces appareils sont généralement générateur de chaleur et accentue l'îlot de chaleur urbain. Il s'agit donc de réduire la demande énergétique de ces sources et de limiter la chaleur qu'ils dégagent afin de lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain. Le choix d'une architecture bioclimatique privilégiant un accès à la lumière naturelle et la baisse des consommations incitent à limiter les émissions de chaleur et ainsi réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Les transports sont quant à eux responsables des émissions de gaz à effet de serre à hauteur de 30% en région parisienne (transports de personnes et transports de fret). La réduction de la circulation doit donc être une priorité afin de lutter contre ce dégagement d'émission de gaz à effet de serre et de chaleur d'origine anthropique. Le développement des transports en communs, l'incitation à des modes actifs (vélo et piéton) et par exemple le covoiturage permettent de réduire par conséquent le phénomène d'îlot de chaleur urbain.

Des actions d'amélioration dans ces deux domaines permettraient de limiter l'effet d'îlot de chaleur urbain.

F DEGAGEMENTS ANTHROPIQUES

Le Territoire et la ville

1 DIMINUTION DU PARC AUTOMOBILE

Développer une politique de réduction du parc automobile en milieu urbain

L'étalement urbain sur le territoire francilien impose une réflexion et une stratégie en matière de déplacements afin de limiter l'utilisation de l'automobile et les émissions de gaz à effet de serre et de chaleur que celle-ci engendre. Localement, la circulation automobile amplifie le réchauffement diurne et ralentit le refroidissement nocturne, elle participe ainsi à la surchauffe des villes en rejetant de la chaleur (véhicule électrique inclus) et de la pollution (hors véhicule électrique).

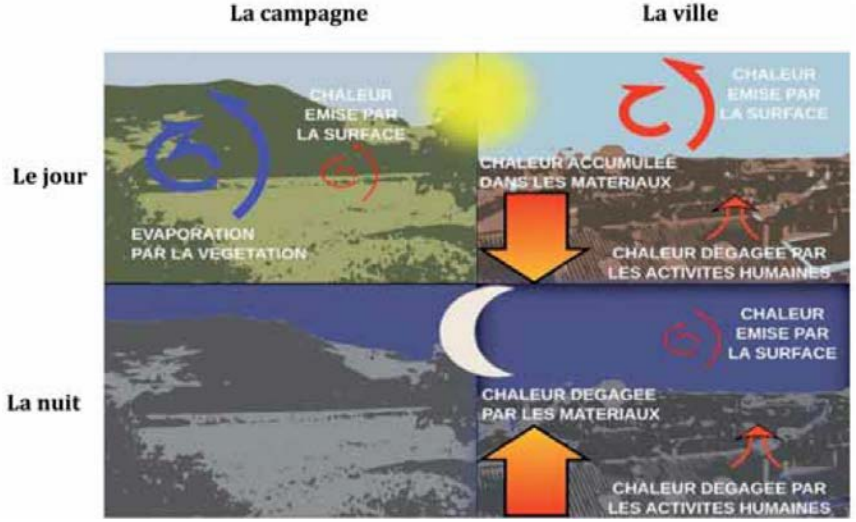
Le modèle urbain est voué à être réorganisé pour limiter la circulation automobile. Le modèle pavillonnaire de faible densité (moins de 20 logements à l'hectare) est à bannir car consommateur d'espace et acteur de l'augmentation de l'usage de la voiture. Tandis que la densification des centres urbains est à privilégier en favorisant la mixité des usages vecteurs du moindre déplacement et du recours aux transports en commun.

Un modèle conjuguant immeubles collectif et habitat individuel dense aérés par des espaces verts publics et privés, plantés d'arbres est à développer, au sein de quartiers disposant d'une mixité fonctionnelle (**Voir** ci-après **F.2**) ceux-ci desservis par des transports collectifs. Un travail sur la réduction des distances domicile / travail est à mener en parallèle à l'échelle du territoire.

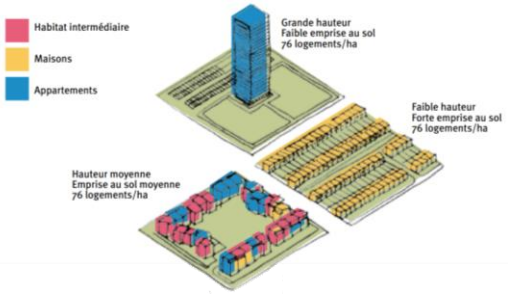
Une réglementation de la circulation en journée chaude est devenue indispensable. Elle peut s'accompagner de campagnes de dissuasion telle que l'augmentation des coûts de stationnement, des péages urbains ou d'incitation comme les parcs relais et la gratuité des transports collectifs en cas d'alerte chaleur. La loi Grenelle 2 encourage l'expérimentation de Zones d'actions prioritaires pour l'air (Zapa) où l'accès à la circulation est interdit aux véhicules polluants.

Le développement et le renforcement des réseaux de transport en commun est, avec la promotion des modes de transports doux, le troisième pilier de cette stratégie de diminution du parc automobile.

Cette stratégie peut être formalisée à l'échelle du territoire au sein des documents directeurs d'urbanisme : SCOT, PADD, Plan de Déplacement Urbain (PDU) ou Plan Local de Déplacement (PLD)…

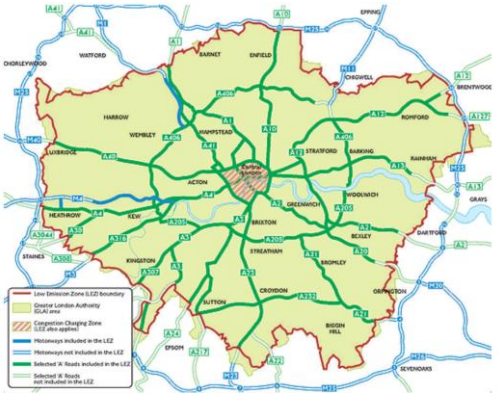


Dégagements de chaleur le jour et la nuit, à la campagne et en ville (Source : MeteoFrance)



Formes urbaines et densité
(Source : Etalement urbain et changements climatiques – RAC-F)

Développement des modes doux (Source PDUIF)



Délimitation d'une Low Emission Zone à Londres équivalent d'une Zapa – Source : ADEME

Umweltzone en Allemagne équivalent d'une Zapa
Source : TZ

Le quartier et la rue

2 MIXITE ET MUTUALISATION

Accentuer la mixité fonctionnelle des quartiers

Il est aujourd'hui acquis que la mixité fonctionnelle entre activités, bureaux, logements, commerces et équipements permet de diminuer les migrations alternantes et les déplacements motorisés induits. Cette diminution des déplacements motorisés réduit ainsi les apports de chaleur générés et participe à la baisse de l'îlot de chaleur urbain.

En réalité, cette mixité fonctionnelle, associée à la mixité sociale, n'est pas évidente car elle dépasse les phases de conception et de construction et doit être entretenue dans la durée. Cette notion a donc souvent un coût non négligeable dans le montage opérationnel d'un quartier durable. Le maintien de la mixité sociale est de plus primordial face aux recommandations de verdissement et de valorisation des espaces naturels, souvent vecteur de la gentrification. Une politique sociale et volontaire forte doit être menée pour maintenir cette mixité.

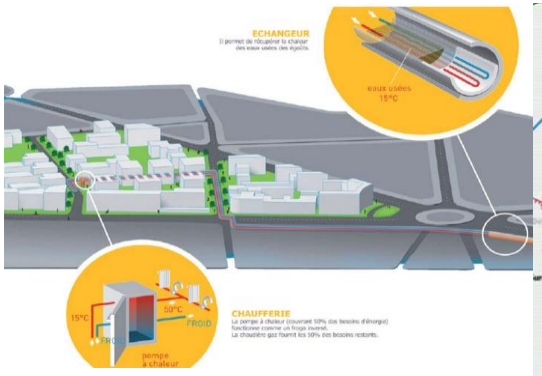
Enfin, cette mixité des usages, souvent associée à la densification, principe premier de l'aménagement durable, peut parfois apparaitre en contradiction avec certains principes de lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain (espaces naturels, gestion alternative des eaux pluviales, perméabilité des sols…), vers une certaine dispersion urbaine. Il s'agit de pondérer chacun de ces enjeux afin de construire la ville de manière raisonnée et associer densification et lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Privilégier le recours à des choix énergétiques mutualisés

Dans l'objectif de limiter les pertes de chaleur dans les processus de production d'énergie (chauffage, eau chaude sanitaire, industrie,…), il est nécessaire de recourir à des choix énergétiques mutualisés à l'échelle du quartier. La priorité est donnée aux réseaux de chaleur avec un approvisionnement en énergie renouvelable. On notera comme exemple la récupération de chaleur produite par les process industriels et les Datacenter (centre de données informatiques), la récupération de chaleur sur eaux usées, les Pompes à chaleur (PAC) réversibles utilisant la géothermie ou encore la récupération de chaleur sur groupes frigorifiques pour la production d'eau chaude sanitaire.

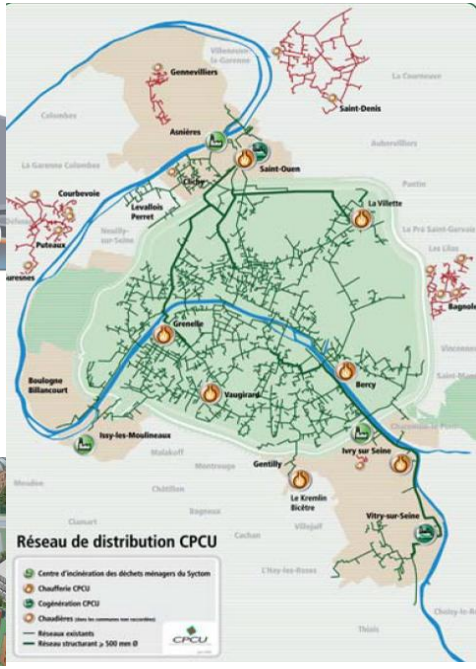
L'ensemble de ces techniques innovantes permet à la fois de produire de l'énergie issue d'apports de chaleur gratuits et de limiter les apports de chaleur en milieux urbain, participant ainsi à limiter l'effet d'îlot de chaleur.

Plan des fonctions – Docks de Saint Ouen – Reichen et Roberts Associés ; H. Saudecerre ; M. RAFATDJOU (Source : Schéma directeur d'aménagement – Ville de Saint-Ouen)



Récupération de chaleur des réseaux d'assainissement – ZAC centre Sainte-Geneviève – SEMNA (Source : Ecoquartiers suivez le guide)

Récupération de chaleur sur Datacenter (Source : Dalkia)



Cartographie du réseau de distribution CPCU (Source : www.cpcu.fr)

F DEGAGEMENTS ANTHROPIQUES

L'îlot et le bâtiment

3 REDUCTION DES APPORTS INTERNES DE CHALEUR

Concevoir selon les principes de la construction de bâtiments passifs

Afin de réduire les émissions de chaleur liées à l'exploitation des bâtiments, les apports internes de chaleur interne au bâtiment peuvent être réduits. Les principes de la construction passive permettent de réduire dans un premier temps les apports liés aux systèmes. Le choix de la ventilation naturelle, transversale ou par surventilation nocturne (**Voir B)**, en remplacement d'une ventilation mécanique, le rafraîchissement solaire, les puits canadiens ou provençal et les systèmes de rafraîchissement par rayonnement sont par exemple des principes permettant de limiter l'usage de la climatisation qui contribue fortement à l'émission de chaleur (Voir ci-après). La réhabilitation thermique des bâtiments existant est aussi en ce sens un enjeu majeur. Une thermographie ciblée des bâtiments permet d'identifier les bâtiments les moins isolés.

Minimiser l'éclairage artificiel et optimiser les gains de lumières naturelles

L'éclairage est une des sources de chaleur interne. Le premier principe afin de réduire ces apports est de privilégier l'utilisation de lampes fluocompactes et de prohiber les lampes halogènes et à incandescence émettrices de chaleur. Ensuite, il convient de réguler le recours à l'éclairage artificiel. On compte parmi les mécanismes de régulation le contrôle du flux lumineux (adapté en fonction de la lumière naturelle entrante), le contrôle horaire, les détecteurs de présence et minuterie ou encore les cellules d'éclairement. Pour réduire la dépendance à l'éclairage artificiel, la conception des bâtiments doit maximiser les apports gratuits d'éclairage : la lumière naturelle. A ce titre, une étude d'ensoleillement précise du site et de son environnement est indispensable.

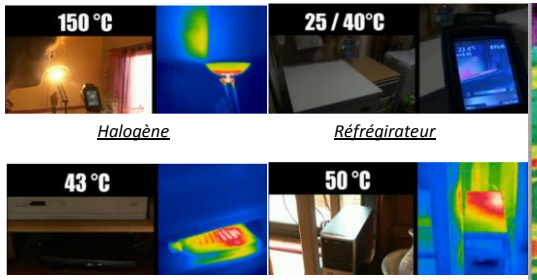
Favoriser le recours aux appareils ayant une bonne efficacité énergétique

Pour l'ensemble des appareils courant (électroménager, bureautique…) le choix de systèmes performants permet de limiter les émissions de chaleur de ces appareils.

Limiter l'usage de la climatisation

En périodes de chaleurs estivales, les besoins en froid augmentent pour refroidir ou maintenir à température constante les espaces de vie. Des études ont montrées (Projet CLIM²) que les rejets de chaleur liés aux systèmes de climatisation actuels provoquent une augmentation faible et locale de la température nocturne dans les rues de l'ordre de 0,5 à 2°C (par rapport à un cas sans climatisation). Ils participent ainsi à modifier la structure et l'amplitude des îlots de chaleur urbain nocturnes (évalués à +0,75°C à Paris). La climatisation augmente la température des rues et appelle plus de climatisation. Il s'agit de lutter contre ces effets néfastes par un refroidissement sans rejet de chaleur dans l'air et ainsi limiter les impacts sur le climat urbain (**Voir B.3**).

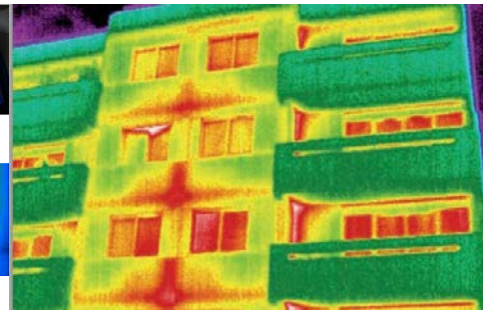
Les premiers immeubles collectifs passifs – Fribourg Vauban (Common & Gies)



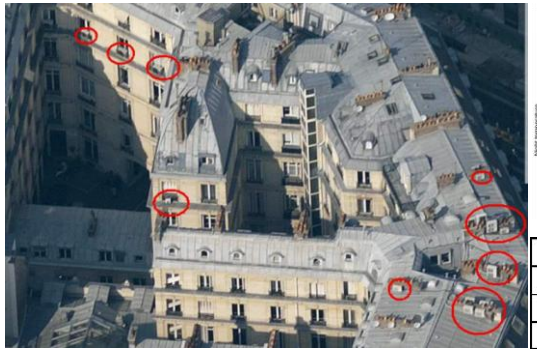
Halogène *Réfrégirateur*

Box internet *Ordinateur*

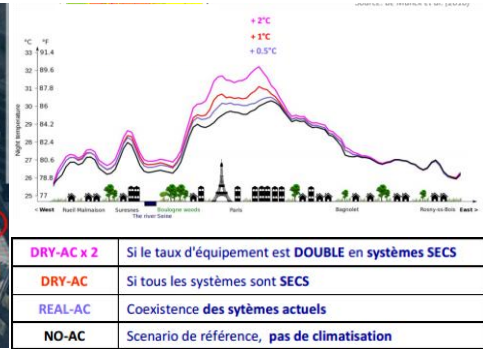
Exemple d'apports internes (Source : ALE Montpellier)



Thermographie d'une façade parisienne (Source : APUR)



Présence des systèmes de climatisation sur les toits parisiens (Source : Projet CLIM²)



DRY-AC x 2	Si le taux d'équipement est **DOUBLE** en **systèmes SECS**
DRY-AC	Si tous les systèmes sont **SECS**
REAL-AC	Coexistence **des sytèmes actuels**
NO-AC	Scenario de référence, **pas de climatisation**

Etude de 4 scenarios de climatisation (Source : de Munck et al. 2010)

RETOURS D'EXPERIENCE

1. Balades thermiques à Grenoble

« Balade thermique ? Sensations garanties ! » (Lo Giudice, 2008) est un travail d'étude mené sur Grenoble avec l'Ecole nationale supérieure d'architecture de Grenoble et le Cresson (centre de recherche sur l'espace sonore et l'environnement urbain). Développée afin d'étudier les chaleurs urbaines à l'intérieur de la ville, l'étude a proposé un parcours thermique à travers différents lieux démonstratifs de plusieurs phénomènes. Il passe dans des endroits différents par leurs morphologies, leurs aménagements ou leurs usages et s'effectue à pied et en tram sur une durée de 1h – 1h30. La comparaison des différents lieux traversés permet d'identifier certains phénomènes thermiques comme la chaleur, l'humidité, le froid ou le vent…

Ces parcours s'illustrent sous la forme d'une coupe qui permet de représenter la morphologie du bâti, les aménagements divers, les infrastructures, la végétation, mais aussi les usages afin de voir comment la population s'approprie ces lieux. Ces parcours permettent à la population d'appréhender les ressentis perçus pour chaque ambiance caractérisée. Ils participent à la sensibilisation des habitants au climat urbain estival et aux problématiques liées aux îlots de chaleur urbains.

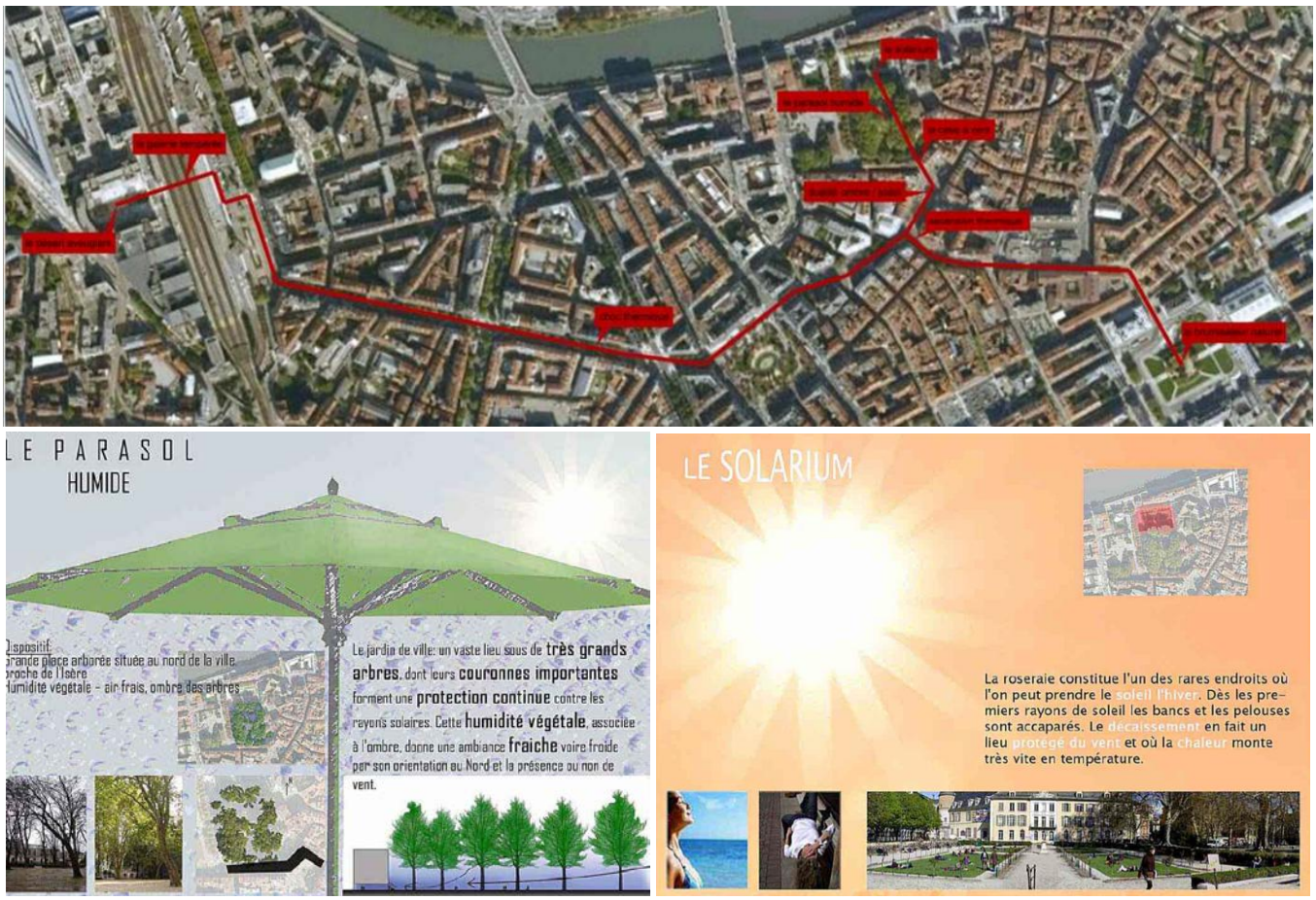


Figure 11- Balade thermique et exemple de coupe résultante (Source: Lo Giudice, 2008)

2. Programme PIRVE à Toulouse

Le programme PIRVE « Formes urbaines, modes d'habiter et climat urbain dans le périurbain toulousain » participe également à la prise en compte et l'intégration des habitants dans les questions de chaleurs urbaines. L'étude combine des mesures issues de la campagne Capitoul et des relevés *in situ* des températures avec une analyse paysagère, en entretiens avec les habitants des zones périurbaines de Toulouse. Cette étude a permis de dégager des typologies thermiques pour les quartiers étudiés et le ressenti des habitants. La prise en compte des modes d'habiter, relation des individus à leur environnement, est ainsi prépondérante pour la lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain.

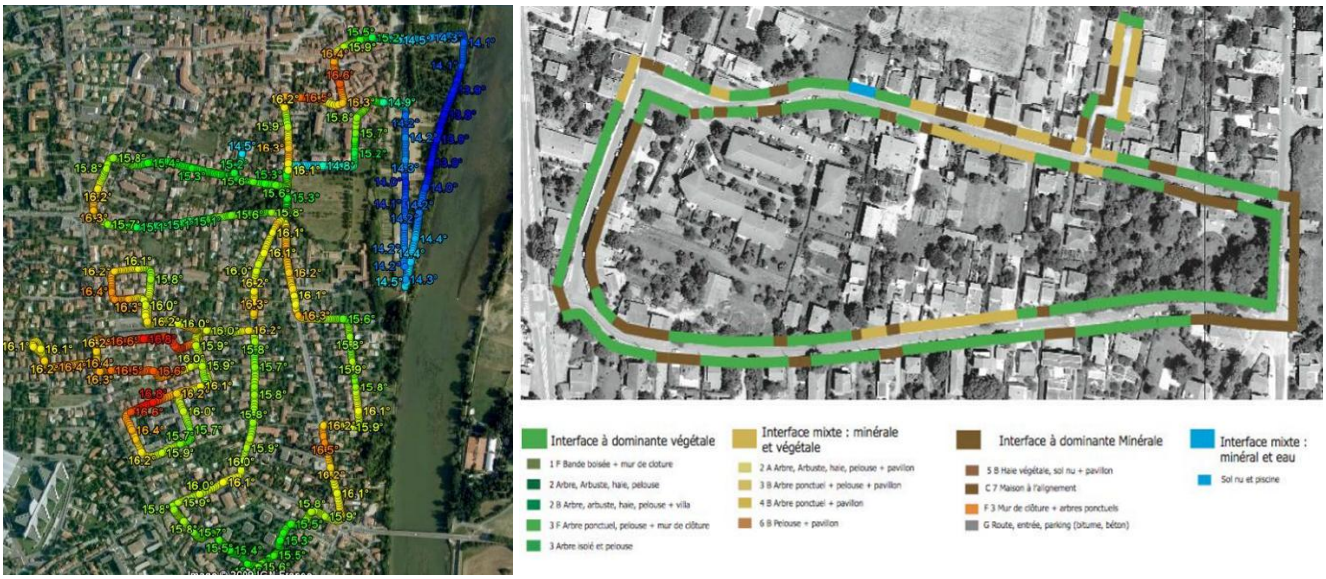


Figure 12 - Parcours de mesures de températures le 3 juin 2009, 6h30, à Blagnac / Eléments paysagers le long des parcours de mesure (Source: PIRVE, 2010)

3. Plan Climat - Le projet AMICA du Grand Lyon

Mené parallèlement à l'élaboration du PCET de la Communauté Urbaine du Grand Lyon, le programme AMICA (Adaptation and Mitigation, an Integrated Climate policy Approach), programme européen Interreg III C, vise à identifier de « bonnes » mesures d'adaptation (baisse de la vulnérabilité locale) présentant également un intérêt pour la thématique d'atténuation (réduction des émissions). Il a participé ainsi à la structuration de la politique climatique lyonnaise.

Une action spécifique aux ICU, « Identifier et maîtriser les risques associés aux Îlots de Chaleur Urbains », est développée en ce sens au sein du Plan Climat. L'action est essentiellement centrée sur le développement de connaissances, mais également sur l'intégration de la question d'adaptation dans les documents stratégiques qui permettront à terme le déploiement des projets de terrain liés aux îlots de chaleur.

L'action s'est déroulée en trois phases :

- Phase 1 – Participation au projet AMICA : réalisation d'une étude de vulnérabilité du territoire ;
- Phase 2 – Etude sur l'identification des îlots de chaleur urbains et leurs conséquences sanitaires :
    - Revue bibliographique de la micro-climatologie urbaine et mise en évidence des contributions des îlots de chaleur dans les problématiques sanitaires en cas de pics de chaleur,
    - Identification des éléments aboutissant à la constitution d'un îlot de chaleur et modélisation cartographique,
    - Réflexion sur les méthodes de validation de l'outil de prédiction des îlots de chaleur urbain.
- Phase 2bis – Intégration progressive de la question climatique dans les réflexions de la Mission Arbre.

Ce travail a permis à la collectivité de déterminer les zones les plus à risques, de sensibiliser les principaux acteurs et de penser les solutions à mettre en œuvre à plus longue échéance. (Plus d'informations sur cette action sur www.pcet-ademe.fr).

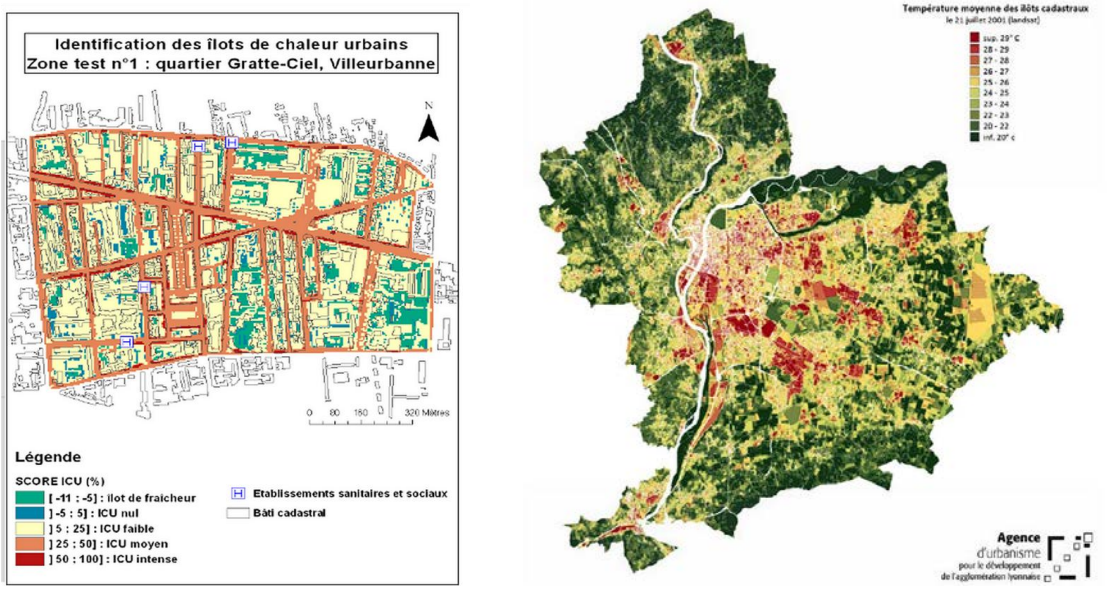


Figure 13 - Identification des îlots de chaleur urbains / Température moyenne des îlots cadastraux (Source: www.pcet-ademe.fr)

Le Plan régional pour le Climat d'Île-de-France, adopté le 24 juin 2011, développe différentes actions en matière d'adaptation dont le ***Chantier 6 : Lutter contre les îlots de chaleur urbains****. Les objectifs principaux sont :*

- *Identifier les îlots de chaleur urbains (ICU) actuels et futurs sur l'ensemble des territoires franciliens ;*
- *Envisager des mesures de lutte contre les ICU dans le but de réduire la vulnérabilité des territoires les plus concernés.*

Cette action pourra être développée au sein des Plans Climat réalisés par chaque collectivité sur le territoire francilien.

4. Ecoquartiers

Les projets présentés ci-dessous font partie du palmarès national EcoQuartier 2011 et intègrent plusieurs des recommandations pour la lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain (Pour plus de retours d'expérience : www.developpement-durable.gouv.fr/Palmares-national-EcoQuartier-2011).

ZAC La Courrouze – Rennes Métropole

Considérée comme le laboratoire du développement urbain durable de Rennes Métropole, La Courrouze se situe sur d'anciens sites industriels et friches militaires à l'intérieur de la rocade au Sud-Ouest de Rennes. Créée en 2003, l'aménagement de la ZAC est prévu en 4 tranches sur 15 ans pour une superficie de 115ha dont 40ha d'espaces verts. Les premiers logements du secteur « Bois habités » ont été livrés en 2010.

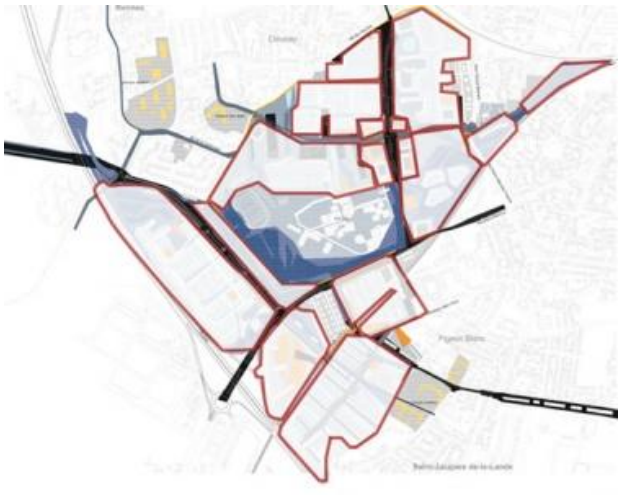


Figure 14 - Les différents secteurs de La Courrouze et sa trame bleue (Source: Eco-quartiers.fr) Maîtrise d'ouvrage : Rennes Métropole, SEM Territoires ; Maîtrise d'œuvre : Secchi-Vigano (architectes-urbanistes), Dard (paysagiste) et Gec Ingénierie

Les trois grands objectifs identifiés pour le site sont :

- Réaliser une **« couture urbaine »** en reconnectant la Courrouze au tissu urbain (opération de renouvellement urbain, traitement des espaces, desserte en transports en privilégiant les modes doux)
- Réaliser une opération prenant en compte toutes les **dimensions de la mixité** (sociale et intergénérationnelle, fonctionnelle, formes urbaines…)
- Réaliser une opération pilote en matière d'**aménagement durable** (respect de l'environnement, consommation économe du foncier, gestion alternative des eaux de pluie, gestion des déchets, des nuisances sonores, de l'énergie).

Lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain

Végétalisation et fraîcheur des espaces urbains :

- Organisation du quartier autour d'une coulée verte du centre-ville au parc de la Prévalaye (« vivre dans la ville, habiter un parc »)
- Préservation des bois déjà implantés pour valoriser la trame verte

Perméabilité et gestion alternative des eaux pluviales :

- Récupération des eaux de pluie,
- Systèmes de noues pour alimenter les jardins,
- Toitures-terrasses végétalisées pour ralentir l'écoulement des eaux,
- Bassins de rétention à sec enherbés pour le stockage et la préservation de la ressource.

Dégagements anthropiques :

- Mixité des formes urbaines pensée en lien avec la consommation économe du foncier
- Mixité des fonctions avec 11 000 m² d'équipements de quartier (crèche, école, équipement pour personnes âgées..)
- Densité fluctuante de 60 logogements/hectare à 240 logements/hectares
- Une offre de transport encourageant les modes doux et le passage d'un transport en commun en site propre pour desservir le quartier
- Réduction des consommations énergétiques de 35% et eau chaude sanitaire fournie à 40% par le solaire

Figure 15 - Gestion alternative des eaux de pluie / Mixité des formes urbaines (Source : Eco-quartiers.fr)

EcoQuartier Baudens – Bourges

Sur le site d'un ancien hôpital militaire, le Conseil général du Cher et la SEM Territoria aménagent l'EcoQuartier de Baudens. Primé sur la thématique « Ville moyenne », le projet propose une mixité fonctionnelle et d'usages autour de la préservation des bâtiments de l'ancien hopital (10 400 m² SHON de logements sociaux et 22 530 m² SHON de logements privés ainsi que la création de 5 000 m² SHON d'activités et services). La livraison de l'opération est prévue début 2014.

Figure 16 - L'EcoQuartier de Baudens (Source: ecoquartier-baudens.fr)
Maîtrise d'ouvrage : CG 18, SEM Territoria ; Maîtrise d'œuvre : Cabinet Ruelle (architecte paysagiste urbaniste)

Lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain

Ventilation naturelle des espaces extérieurs :

- Des espaces de vie partagés pour un quartier aéré dont une place centrale avec la présence d'un jardin, la place Baudens, et un Jardin Sous le Vent de promenade s'appuyant sur le patrimoine végétal existant.

Végétalisation et fraîcheur des espaces urbains :

- Jardins collectifs, jardins privatifs des Rez-de-chaussée, terrasses plantées

Matériaux et infrastructures :

- Choix de matériaux pérennes avec un choix des couleurs et une attention aux choix des matériaux de sol extérieurs

Dégagements anthropiques :

- Diversité des volumétries, passage du faubourg aux quartiers pavillonnaires
- Double orientation des logements pour un bon ensoleillement
- Action « Mon cher Vélo » afin de promouvoir l'utilisation de ce mode de déplacement

Figure 17 - Photographies diverses du projet (Source: Atelier Ruelle)

La Duchère – Lyon

Construit en 1960, le quartier La Duchère fait l'objet d'un « Grand Projet de Ville » développé sur la période 2003-2016 afin de faire du quartier un espace de vie plus attractif, plus ouvert, plus équilibré. Soutenu notamment par l'ANRU et l'Acsé, le projet a été primé pour la thématique « Renouvellement Urbain».

Le projet aborde de front les problématiques du quartier et s'articule autour de neuf enjeux avec trois idées fortes :

- Réunir autour d'un centre de quartier (réalisation d'une place centrale regroupant équipements publics, services, commerces…)
- Ouvrir le quartier sur son environnement (création d'un parc relais, aménagement de pistes cyclables…)
- Valoriser les qualités paysagères du site (aménagement du Parc du Vallon, mise en valeur des Balmes…)

Figure 18 – La Duchère (Source : gpvlyonduchere.org)

Lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain

Santé et qualité de l'air :

- Toitures végétalisées pour absorption des poussières, du CO2 et confort en été

Végétalisation et fraîcheur des espaces urbains :

- Offrir un véritable « poumon vert » avec les onze hectares d'espaces verts du Parc du Vallon

Perméabilité et gestion alternative des eaux pluviales :

- Amélioration de la gestion des eaux pluviales et gestion du débit de fuite à la parcelle
- Le ruisseau des Gorges remis à l'air libre sur une partie du parc
- Aménagement hydraulique (noues, bassins) pour canaliser et gérer naturellement les eaux de pluie et le ruisseau

Dégagements anthropiques :

- Raccordement à un réseau de chauffage urbain (biomasse),
- Modes doux et mobilités favorisés
- Diversité des fonctions urbaines

Figure 19 - Le Parc du Vallon (Source: gpvlyonduchere.org)

Hydrauliques : Maîtrise d'ouvrage: Grand Lyon - Direction de l'Eau; Maîtrise d'oeuvre: Hydratec, Terrasol;
Aménagement paysager : Maîtrise d'ouvrage: SERL Aménagement; Maîtrise d'oeuvre: ILEX (paysage, urbanisme), LEA Les Eclairagistes AssocP

Il est à noter que, dans une grande partie des projets d'écoquartiers recensés, la lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain est rarement identifiée en tant que telle mais à travers une approche globale de l'ensemble des thématiques d'un aménagement durable. La prise en compte de cette problématique à part entière sera l'un des enjeux majeurs des futurs aménagements durables en milieu urbain.

ANNEXES

1. Coefficient d'absorption et albédo des matériaux

Source : audience.cerma.archi.fr d'après (Guide solaire de l'énergie passive, Mazria, 1981)			*Calculé*
Matériau	**Teinte**	**Coefficient d'absorption**	**Albédo**
BRIQUES			
Vernissée	Blanche	0,26	0,74
Vernissée	Ivoire à crème	0,35	0,65
Ordinaire	Rouge clair	0,55	0,45
Ordinaire	Rouge	0,66	0,34
Extrudée ou filée	Rouge	0,52	0,48
Marbré	Pourpre	0,77	0,23
/	Bleue	0,89	0,11
CALCAIRE			
	Claire	0,35	0,65
	Sombre	0,50	0,50
GRES			
	Beige	0,54	0,46
	Gris clair	0,62	0,38
	Rouge	0,73	0,27
MARBRE			
	Blanc	0,44	0,56
	Sombre	0,56	0,34
GRANIT			
	Rougeâtre	0,55	0,45
METAUX			
Acier émaillé	Blanc	0,45	0,55
	Vert	0,76	0,24
	Rouge sombre	0,81	0,19
	Bleu	0,80	0,20
Acier galvanisé	Neuf	0,64	0,36
	Très sale	0,92	0,08
	Blanc propre	0,22	0,78
Cuivre	Poli	0,18	0,82
	Terni	0,64	0,36
Plomb en feuille vieilli		0,79	0,21
PEINTURES			
Aluminium		0,54	0,46
Cellulosique	Blanc	0,18	0,82
	Jaune	0,33	0,67
	Orange	0,41	0,59
	Rouge vif	0,44	0,56
	Rouge sombre	0,57	0,43
	Brun	0,79	0,21
	Gris	0,75	0,25
	Vert brillant	0,79	0,21
	Vert clair	0,50	0,50
	Vert sombre	0,88	0,12
	Bleu foncé	0,91	0,09
	Noir	0,94	0,06
MATERIAUX DE COUVERTURE			
Amiante-ciment	Blanc	0,42	0,58
	Exposé à l'ext. Depuis 6 mois	0,61	0,39
	Après 12 mois d'exposition	0,71	0,29
	Après 6 ans d'exposition, très sale	0,63	0,37

Amiante-ciment	Rouge	0,69	0,31
Couverture d'asphalte	Neuve	0,91	0,09
	Vieillie	0,62	0,38
Etanchéité en feuilles bitumées	Brun	0,67	0,33
	Vert	0,66	0,34
Feutre bitumé	Sans surface aluminisée	0,68	0,32
	Avec surface aluminisée	0,4	0,6
Ardoise	Gris argenté	0,79	0,21
	Gris bleu	0,67	0,33
	Gris verdâtre grossière	0,63	0,37
	Gris foncé lisse	0,89	0,11
	Gris foncé grossière	0,80	0,2
Papier goudronné	Noir	0,93	0,07
Tuile mécanique en terre cuite	Rouge	0,64	0,36
	Pourpre foncé	0,61	0,39
Tuile moulée à la main en terre cuite	Rouge	0,60	0,4
	Brun-rouge	0,69	0,31
Tuile en ciment sans colorant	Sans colorant	0,65	0,35
	Brun	0,85	0,15
	Noir	0,91	0,09
SOLS EXTERIEURS			
Revêtement d'asphalte ou de goudron		0,93	0,07
Sol nu		0,75	0,25
Herbe verte après pluie		0,67	0,33
Herbe haute et sèche		0,87-0,89	0,11-0,13
Glace avec rares zones enneigées		0,31	0,69
Feuille de chêne		0,71-0,78	0,22-0,29
Sable	Sec	0,82	0,18
	Humide	0,91	0,09
	Parsemé de blanc	0,45	0,55
Neige	Poudreuse fraîche	0,13	0,87
	Glacé, granuleuse	0,31	0,69
Eau		0,94	0,06
SOLS EXTERIEURS			
Aluminium poli		0,15	0,85
Béton		0,80	0,20
Cuivre poli		0,25	0,75
Plâtre blanc		0,07	0,93
Argent poli		0,07	0,93
Bois de pin		0,60	0,40
AUTRES (*non mentionnés / valeur approchée)*			
Surfaces lisses unies	Blanc	0,25 à 0,40	0,60 à 0,75
	Gris au gris foncé	0,40 à 0,50	0,50 à 0,60
	Vert, rouge, brun	0,50 à 0,70	0,30 à 0,50
	Brun au bleu foncé	0,70 à 0,80	0,20 à 0,30
	Bleu foncé au noir	0,80 à 0,90	0,10 à 0,20

2. Coefficients de ruissellement (*Source : HQE*)

Catégorie de surface	Coefficient de ruissellement
Espaces verts boisés (couverture par des arbres à plus de 70% en projection au sol, hors cheminement et voirie internes)	0,1
Espaces verts engazonnés pleine terre (hors cheminement et voirie internes)	0,2
Espaces verts sur dalle (ou végétalisation intensive) avec épaisseur de substrat supérieure à 30 cm	0,4
Cheminement ou place en béton poreux, stabilisé ou en pavage à larges joints (sauf situé sur dalle)	0,6
Cheminement ou place en revêtement imperméable	1
Chaussée à structure réservoir perméable sur sol à dominante sableuse	0,4
Chaussée à structure réservoir perméable sur sol à dominante limoneuse ou argileuse	0,7
Parking végétalisé	0,7
Voirie ou parking en enrobé classique imperméable	1
Toitures végétalisées intensives (épaisseur de substrat au-delà de 30cm)	0,4
Toitures végétalisées semi-intensives (épaisseur de substrat entre 15 et 30cm)	0,6
Toitures végétalisées extensives (épaisseur de substrat inférieur à 15 cm)	0,7
Toitures en pente ou terrasse (gravillonnée ou non)	1

SOURCES

- **Plan Régional pour le Climat - Livret Vert : Etat des lieux des enjeux climatiques** – Région Ile de France – *Juillet 2010*
- **Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains** – Institut National de Santé Publique du Québec – *Juillet 2009*
- **Les îlots de chaleur urbains - *L'adaptation de la ville aux chaleurs urbaines*** – Institut d'Aménagement et d'Urbanisme d'Ile-de-France – *Novembre 2010*
- **Les îlots de chaleur urbains - *Répertoire de fiches connaissance*** – Institut d'Aménagement et d'Urbanisme d'Ile-de-France – *Novembre 2010*
- **Plan Régional pour la Qualité de l'Air (PRQA) –** Ile de France – 2009
- **Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville –** Colombert Morgane – Université Paris-Est – *2008*
- **Adaptation de la ville à l'augmentation des températures -Etude en droit de l'urbanisme –** Cécile Fedele – Université Paul Cezanne Aix-Marseille III
- **Climate change adaptation by design : a guide for sustainable communities –** London: Town and Country Planning Association (TCPA) – *2007*
- **Concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain: une approche bioclimatique –** Projet RUROS – CRES - *2004*
- **La gestion durable des eaux de pluie - Guide de bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable –** MAMROT (Québec) – *2010*
- **Guide sur le verdissement pour les propriétaires institutionnels, commerciaux et industriels - Contrer les îlots de chaleur urbain –** Conseil Environnement Montréal – *2010*
- **Matériaux réfléchissants et perméables pour contrer les îlots de chaleur urbains –** Conseil régional de l'environnement de Montréal – *2008*
- **Lutte contre les îlots de chaleur urbains – *Référentiel Conception et Gestion des Espaces Publics* –** *Communauté urbaine du Grand Lyon – 2010*
- **Impact du changement climatique sur les ressources en eau du bassin versant de la Seine –** *PIREN – Décembre 2011*
- **Les petites rivières urbaines d'Ile-de-France –** *PIREN - Décembre 2011*
- **The draft climate change adaptation strategy for London -** *Mayor of London – Février 2010*
- **Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques –** *Alain Liébard - André De Herde – Observ'ER - Editions du Moniteur - 2005*
- **Mieux vivre à Paris pendant la canicule** – *APUR – Juillet 2011*

- **Reducing Urban Heat Islands : Compendium of Strategies [Urban heat island basics; Trees and Vegetation, Green roofs, Cool roofs, Cool pavements, Heat Island Reduction Activities]** – U.S. Environmental Protection Agency - *2003*
- **Rôle des îlots de chaleur urbains dans la surmortalité observée pendant les vagues de chaleur** – InVS - 2012
- **Consultation internationale de recherche et de développement sur le grand pari de l'agglomération parisienne, livret de chantier 1 &2** – Le Grand Pari de l'agglomération parisienne – Groupe Descartes - 2009
- **Bilan de la qualité de l'air en Ile-de-France en 2011** – AirParif – 2012
- **Villes et adaptation au changement climatique** – Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC) – 2010
- **Canicule et chaleurs extrêmes – Les outils de communication** – www.sante.gouv.fr – Ministère des Affaires sociales et de la Santé – 2012
- **Les chroniques cyclistes** – www.cyclesud.fr – Cyclesud - 2008
- **Evaluer les risques liés au travail à la chaleur –** www.inrs.fr/accueil/risques/phenomene-physique/chaleur/evaluer.html - Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) – 2011
- **Drias – les futurs du climat –** www.drias-climat.fr – Ministère de l'Ecologie et du Développement durable et de l'Energie – 2012
- **Climat de l'Île-de-France –** www.meteo-paris.fr/ile-de-france/climat.html - Météo Paris
- **Climatisation Basse Consommation – La ventilation nocturne –** Comité Scientifique et Technique des Industries Climatiques (COSTIC) – 1998
- **Rapport technique – Bâtiments exemplaires - Fiche 3.1 : le free-cooling par ventilation intensive** - Bruxelles Environnement - Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (IBGE) – 2010
- **Balade thermique ? Sensations garanties ! –** Gaëlle Lo Giudice, Emeline Marquet – Master « Chaleur urbaines », Jean-Paul Thibaud – ENSAG – 2008
- **Passive cooling of outdoor urban spaces – The role of materials solar energy** – Doulos, L; Santamouris, M; Livada, I – Group Building Environmental Studies, Section Applied Physics, Physics Department - University of Athens – 2004
- **Modélisation et simulation des microclimats urbains: Etude de l'impact de la morphologie urbaine sur le confort dans les espaces extérieurs. Cas des écoquartiers** – Khaled Athamena – Ecole Centrale de Nantes – Ecole Doctorale SPIGA – 2012
- **Du Microclimat au bâtiment – Concevoir en milieu urbain : prise en compte des interactions bâti-environnement urbain –** M. Musy – Ecole Nationale Supérieure Architecture Nantes – CNRS – www.grenoble.archi.fr/chaleursurbaines/diaporama_conf_16-10-07 - 2007
- **Projet CLIM² Climat urbain et climatisation** - C. de Munck, G. Pigeon, F-E Meunier, B. Tréméac, P. Bousquet, M. Merchat, P. Poeuf, C. Marchadier -CNRS, EA21, Météo France, Climespace – 2010

- **Thermographie des immeubles parisiens** – APUR – 2010
- **Etalement urbain et changements climatiques** - Réseau Action Climat France (RAC-F) – 2011
- **Climat et modes d'habiter dans le périurbain toulousain** – PIRVE (CNRS-MEEDDAM) – 2010
- **Aménagement et eaux pluviales sur le territoire du Grand Lyon – Guide à l'usage des professionnels** – Communauté urbaine Grand Lyon – 2008
- **Ecoquartiers, suivez le guide – 12 engagements pour un aménagement durable** – EPL ; GrDF – 2011
- **Le coefficient de Biotope par Surface (CBS) à Berlin** – Natur & Stadtgrün - http://www.natureparif.fr/attachments/forumdesacteurs/Rencontres/Grandesville-biodiversite/3_Presentation_BBeyer_Berlin.pdf) – 2012
- **Confort d'été en Provence Alpes Côte d'Azur** – ARENE PACA – ENVIROBOITE – 2008
- **Intégration des précautions du changement climatique dans l'aménagement urbain durable, le cas des ZAC de Montpellier** – E.Jedidi - Université Paul Verlaine Metz - 2011

REMERCIEMENTS

Ouvrage produit par :

Avec la collaboration de :

Dans le cadre du programme européen :

Ouvrage conçu et réalisé par ALTO STEP sous la direction de Romain Guilbaud
avec la collaboration des équipes projets de :

ALTO STEP
36-40 Rue de la Rousselle 33000 Bordeaux
Tél. 05 57 10 88 75

ALTO Ingénierie
1, Avenue du Gué-Langlois 77600 Bussy Saint Martin
Tél. 01 64 68 18 50 - Fax 01 64 68 17 29

I Care Environnement
14 rue Soleillet 75020 Paris
Tél. 01 43 66 97 27

Avec la participation du Professeur Jean-François SINI, Ecole Centrale de Nantes, Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Energétique et Environnement Atmosphérique (LHEEA), Equipe Dynamique de l'Atmosphère Urbaine et Côtière (DAUX).

PROGRAMME D'ETUDES DETAILLE ET HIERARCHISE

pour les 5 ans à venir

ADDENDUM - GUIDE DE RECOMMANDATION EFFET D'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN

Novembre 2012

CONTENU

Introduction 3

1. Le Plan national d'adaptation au changement climatique 3
2. Le Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie de la région Ile-de-France 3
3. Le Plan Régional pour le Climat 3
4. Le réseau d'adaptation 3

Programme d'études 5

1. Mode de lecture 5
2. Programme d'études 6

Annexes 10

1. Plan national d'adaptation au changement climatique 10
2. Plan Régional pour le Climat d'Île-de-France – Chantier 6 11
3. SRCAE (Projet) 12

INTRODUCTION

1. Le Plan national d'adaptation au changement climatique

Le Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC), conformément à l'article 42 de la loi du 3 août 2009 sur la programmation du Grenelle de l'environnement, a pour objectif de présenter des mesures concrètes, opérationnelles pour préparer, de 2011 à 2015, la France à faire face au changement de climat et à l'adaptation du territoire. Ce plan national d'adaptation au changement climatique, premier plan de cette ampleur publié dans l'Union européenne, a été élaboré suite à une vaste concertation qui a conduit à plus de 200 recommandations. L'une des actions développées concerne plus particulière la lutte contre la canicule en ville et limiter l'effet d'îlot de chaleur (*Extrait du PNACC en annexe*).

2. Le Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie de la région Ile-de-France

Le Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie (SRCAE) de la région Ile-de-France est actuellement soumis à l'approbation de l'organe de délibération du conseil régional (novembre 2012). Plusieurs orientations traite spécifiquement de l'effet d'îlot de chaleur urbain (*Extrait du SRCAE en annexe*).

3. Le Plan Régional pour le Climat

En Ile-de-France, Le Plan Régional pour le Climat, adopté le 24 juin 2011, comporte un volet adaptation au changement climatique et définit des champs prioritaires d'actions autour de l'amélioration de la connaissance et de son partage, de la lutte contre les îlots de chaleur urbains, des enjeux de l'eau, des risques sanitaires et de la biodiversité.

Le Plan Régional pour le Climat prévoit la réalisation de deux études : une étude de préfiguration d'un réseau d'observation en accompagnant la production d'un document sur l'effet d'îlot de chaleur urbain et une étude permettant la caractérisation des enjeux économiques de l'adaptation pour l'Île-de-France. La Région Île-de-France et l'ADEME Île-de-France ont souhaité réaliser ces études dans le cadre du partenariat qui les lie visant à améliorer la connaissance des impacts du changement climatique sur le territoire francilien.

Ces études devront plus largement s'inscrire en cohérence avec l'élaboration de Plans Climat-Energie Territoriaux pour lesquels l'ADEME et la Région se sont engagés.

Enfin, ces études s'inscrivent dans le cadre du programme européen Interreg 4B intitulé « C-Change » dans lequel la Région est partenaire. Ce programme réunit 7 partenaires européens notamment sur le rôle des espaces ouverts et de la planification en matière d'adaptation au changement climatique.

4. Le réseau d'adaptation

Le présent programme d'études s'inscrit dans la continuité du Guide de recommandation pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain réalisé dans le cadre de la réalisation de l'étude de préfiguration d'un réseau d'observation sur l'adaptation au changement climatique. Ce réseau d'observation aura pour principale mission de mettre à disposition des acteurs franciliens, des usagers et du public des informations sur la vulnérabilité de leur territoire aux impacts du changement climatique et sur les moyens de s'y adapter. Il devra rassembler et synthétiser

l'information, identifier les besoins en matière d'observation du changement climatique, des vulnérabilités, des risques et des actions d'adaptation en lien avec le Club Climat d'Île-de-France et le SRCAE.

Ce programme vise à orienter les études et les recherches complémentaires qui contribueront à améliorer la connaissance et la prise de décision dans la lutte contre l'Effet d'Îlot de Chaleur Urbain. Il préfigure les outils opérationnels qui pourront être produit par le biais du réseau d'observation sur l'adaptation au changement climatique.

PROGRAMME D'ETUDES

1. Mode de lecture

Echéances

Court terme : dans les 2 ans à venir **Moyen terme :** d'ici 2 à 4 ans **Long terme :** d'ici 5 ans et plus

Format

Académique :	Etude universitaire
Opérationnel :	Inventaire et typologie des EICU, identification des solutions par type d'EICU
Benchmark :	Bonnes pratiques découlant de l'urbanisme historique de zones plus chaudes
Prospectif :	Aspects à plus long terme de la problématique d'EICU

Thème

Les thèmes ci-dessous font références aux 6 grandes thématiques développées dans le Guide de recommandation pour la lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain. Ils sont indiqués de la façon suivante :

A. Air	A. Santé et Qualité de l'air
B. Vent	B. Ventilation naturelle des espaces extérieurs
C. Végé	C. Végétalisation et fraîcheur des espaces urbains
D. Eau	D. Perméabilité et gestion alternative des eaux pluviales
E. Revêt	E. Matériaux et infrastructures
F. Anth	F. Dégagements anthropiques
/	Ensemble des thématiques de lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain

Descriptif études

Chacune des études fait l'objet d'un court descriptif. Le programme précise à titre indicatif un montant prévisionnel et une durée d'étude prévisionnelle. Ces informations devront être précisées le cas échéant.

Les sources des études existantes mentionnées sont référencées au sein du Guide de lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain.

2. Programme d'études

Les études sont présentées suivant les échéances préfigurées :

DESCRIPTIF ETUDES	ECHEANCE	FORMAT	THEME
▪ **Analyse des retours d'expériences sur l'implantation d'aire de rafraîchissement en ville** **Objet :** ***Mener une étude sur les usages au travers des saisons des aires de rafraîchissement milieu urbain (aires de repos ombragés, jeux d'eau, brumisateurs, accueil au sein des équipements publics…) afin d'émettre des recommandations et de capitaliser sur leur apport pour l'amélioration des conditions sanitaires en période de forte canicule.*** ***Montant prévisionnel :*** *20 000 €* ***Durée prévisionnelle :*** *3 mois* ***Partenaires :*** *Collectivités* ***Etudes existantes :*** */*	Court terme	Opérationnel / Benchmark	**A. Air** **C. Vég** **D. Eau**
▪ **Analyse des retours d'expériences sur la végétalisation des aires de stationnement** **Objet :** ***Mener une étude sur les usages et la durées de vie des aires de stationnement végétalisés et de leur pérennité dans le temps suivant les aires urbaines (milieu dense, zone pavillonnaire, zone rurale, centre-ville…) afin d'émettre des recommandations et de capitaliser sur leur apport pour la lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain.*** ***Montant prévisionnel :*** *20 000 €* ***Durée prévisionnelle :*** *3 mois* ***Partenaires :*** *Professionnels, Collectivités, Aménageur, SEM* ***Etudes existantes :*** */*	Court terme	Opérationnel / Benchmark	**C. Vég**
▪ **Identifier les secteurs à risque leur de chaleurs accablantes** **Objet :** ***Identifier les secteurs urbains d'Ile-de-France particulièrement sensible aux chaleurs en période de canicule afin de cibler les mesures de luttes et les campagnes de sensibilisation aux zones urbaines les plus vulnérables.*** ***Montant prévisionnel :*** *50 000 €* ***Durée prévisionnelle :*** *6 mois* ***Partenaires :*** *MeteoFrance, APUR* ***Etudes existantes :*** *Etude des îlots de chaleur montréalais dans une perspective de santé publique*	Court terme	Opérationnel	**A. Air**

DESCRIPTIF ETUDES	ECHEANCE	FORMAT	THEME
▪ **Etablissement d'une cartographie de l'indice de végétation en Ile-de-France** **Objet :** ***Cartographier l'indice global de végétation à l'échelle des communes et des quartiers principaux qui la composent afin de développer un véritable outil d'aide à la décision pour les collectivités locales. Cet outil devra leur permettre de faire des choix quant à la végétalisation de leur territoire dans un objectif de lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain.*** ***Montant prévisionnel :*** ***50 000 €*** ***Durée prévisionnelle :*** ***4 mois*** ***Partenaires :*** ***IAU, DRIEA IF*** ***Etudes existantes :*** ***IAU, DRIEA IF***	Court terme	Opérationnel	**C. Vég**
▪ **Etude relative à la connaissance des îlots de chaleur des agglomérations d'Ile-de-France** **Objet : Cartographier l'extension géographique et l'ampleur des îlots de chaleur urbains des principales agglomérations d'Ile-de-France (Boulogne-Billancourt, Argenteuil, Montreuil, Saint-Denis, Versailles…)** ***L'étude devra réaliser une première approche de la problématique à partir de données cartographiques précises pour identifier les zones potentiellement à problème. Une analyse historique des images satellites disponible par superposition, devra être réalisée. Enfin, des campagnes de mesure sur l'été 2013 et 2014 alliant implantation de dispositifs de mesure de température de terrain (mesurages fixes) et mesures embarquées (température, vent, humidité…). A l'issu de l'étude, des préconisations pourront être intégrées à la dynamique d'urbanisme existante.*** ***Montant prévisionnel :*** ***300 000 €*** ***Durée prévisionnelle :*** **2 ans** ***Partenaires :*** ***MeteoFrance, APUR, ADEME (à compléter)*** ***Etudes similaires :*** ***Programme PIRVE à Toulouse, Projet EPICEA***	Moyen terme	Opérationnel	/
▪ **Inventaire des matériaux selon leur propriété de lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain** **Objet :** ***Recensement et caractérisation de l'albédo, des températures de surface et de l'inertie des principaux matériaux sur le marché francilien utilisés pour le revêtement des surfaces extérieures (enrobés, toitures, matériaux d'enveloppes, de façade, revêtements urbains…) afin de fournir aux acteurs de l'aménagement et aux professionnels de la construction un catalogue des matériaux à utiliser pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain.*** ***Montant prévisionnel :*** ***200 000 €*** ***Durée prévisionnelle :*** ***1 an*** ***Partenaires :*** ***CSTB, Professionnels de la contruction*** ***Etudes existantes :*** ***Santamouris, M***	Moyen terme	Opérationnel	**E. Revêt**

DESCRIPTIF ETUDES	ECHEANCE	FORMAT	THEME
▪ **Analyse des mesures de luttes contre l'effet d'îlot de chaleur urbain mise en œuvre dans les éco-quartiers et les opérations de renouvellement urbain en Ile-de-France** **Objet :** ***Analyser et diagnostiquer les mesures mises en œuvre sur des opérations d'aménagement récentes : Analyse de la morphologie urbaine, Analyse des matériaux utilisés, Analyse du projet paysager… Permettre de capitaliser le retour sur expérience en Ile-de-France.*** ***Montant prévisionnel :*** *50 000 €/an* ***Durée prévisionnelle :*** *3 mois / an* ***Partenaires :*** *SEM, Aménageur, Collectivités, Région* ***Etudes existantes :*** *Athamena K. - Indicateurs pour l'analyse de la contribution d'un projet urbain à l'îlot de chaleur*	Moyen terme	Benchmark	/
▪ **Identifier les mesures de lutte contre la pollution de l'air à proximité de sources d'émissions importantes** **Objet :** ***Approfondir les connaissances concernant les mesures protection contre la pollution de l'air à proximité des sources d'émissions importantes (trafic routier, activité industrielle…) afin de diminuer l'exposition et offrir un environnement saint aux zones urbaines à proximité et aux axes de déplacement doux (pistes cyclables, voies piétonnes…)*** ***Montant prévisionnel :*** *80 000 €* ***Durée prévisionnelle :*** *9 mois* ***Partenaires :*** *Air Parif* ***Etudes existantes :*** *PRQA*	Moyen terme	Opérationnel	**A. Air**
▪ **Poursuivre les travaux de météorologie urbaine à l'échelle régionale et locale** **Objet :** ***Développer les connaissances en matière de données météorologiques du territoire francilien, des données de vent locales et de la conséquence de formes urbaines sur le confort des espaces extérieurs en milieu urbain.*** ***Montant prévisionnel :*** *100 000 €* ***Durée prévisionnelle :*** *2 an* ***Partenaires :*** *Meteo France, APUR ADEME* ***Etudes existantes :*** *Projet EPICEA*	Moyen terme	Opérationnel	**B. Vent**

DESCRIPTIF ETUDES	ECHEANCE	FORMAT	THEME
▪ **Analyse du cycle de vie des impacts environnementaux découlant de l'implantation de mesures d'atténuation d'îlots de chaleur urbain** **Objet :** ***Réaliser une analyse du cycle de vie de mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains sur le territoire francilien afin d'évaluer les autres impacts environnementaux potentiels découlant de leur mise en œuvre. Permettre de comparer les mesures de lutte aux ICU.*** ***Montant prévisionnel :*** *50 000 €* ***Durée prévisionnelle :*** *3 mois* ***Partenaires :*** *Universitaires,* ***Etudes existantes :*** *Etude INSPQ par le CIRAIG et l'Ecole Polytechnique de Montréal*	Long terme	Académique / Prospectif	/
▪ **Intégrer la cartographie des îlots de chaleur urbain à un Système d'Information Géographique (SIG)** **Objet :** ***Incorporer les données en lien avec l'effet d'ilot de chaleur urbain au sein d'un SIG afin de bâtir un modèle cartographique et de permettre de simuler la distribution spatiale de l'intensité des îlots de chaleur l'été, sur un cycle de 24h. Permettre de caractériser l'apport des mesures de lutte contre les ICU à travers le temps.*** ***Montant prévisionnel :*** *100 000 €* ***Durée prévisionnelle :*** *2 ans* ***Partenaires :*** *A déterminer* ***Etudes existantes :*** *C. Champiat- Dpt Santé Environnement de Guyane – Identifier les îlots de chaleur urbains pour réduire l'impact sanitaire des vagues de chaleur*	Long terme	Opérationnel	/
▪ **Nom de l'étude** **Objet :** ***Descriptif*** ***Montant prévisionnel :*** */* ***Durée prévisionnelle :*** */* ***Partenaires :*** */* ***Etudes existantes :*** */*	Court terme	Opérationnel	**A. Aire** **B. Vent** **C. Vég** **D. Eau** **E. Revêt** **F. Anth**

ANNEXES

1. Plan national d'adaptation au changement climatique

Fiches actions

FICHE URBANISME et CADRE BATI

« Action n°3 : Lutter contre la canicule en ville et limiter l'effet d'îlot de chaleur

Cette action comporte deux mesures.

- **Faire le bilan des bonnes pratiques d'adaptation dans le cadre du plan Ville Durables**
- **Exiger un diagnostic de vulnérabilité au changement climatique parmi les critères retenus pour l'obtention du label EcoQuartier 2012**

Pilote : DHUP

Action n°3 : Lutter contre la canicule en ville et limiter l'effet d'îlot de chaleur

Mesure 3.1 : Dresser le bilan des bonnes pratiques d'adaptation dans le cadre du plan Villes Durables
L'expertise des dossiers du nouvel appel à projets EcoQuartiers 2011 permettra de mettre en évidence les bonnes pratiques dans les opérations en France sur la lutte contre les îlots de chaleur. Dans la dimension « préservation des ressources et adaptation au changement climatique » l'une des ambitions affichées des EcoQuartiers est précisément de « réduire les émissions de gaz à effet de serre, s'adapter au changement climatique ».
Les objectifs pris en compte au titre de cette ambition sont notamment l'établissement d'un diagnostic et la prise de mesures pour minimiser les risques prévisibles et émergents, le renforcement de la capacité à anticiper ces risques (renforcement de la résilience), des actions spécifiques pour la réduction des phénomènes d'îlot de chaleur urbain, un travail sur la porosité, les formes, couleurs et matériaux, mouvement d'air, sur la végétalisation et l'évapotranspiration pour contribuer à limiter l'îlot de chaleur urbain et améliorer le confort des espaces extérieurs et maîtriser leurs échanges avec les espaces extérieurs.

Plusieurs projets EcoCités, notamment dans le sud de la France, insistent sur la nécessaire adaptation du bâti aux conditions climatiques locales. La connaissance du contexte, et la manière dont les maîtres d'oeuvre vont réfléchir à limiter les effets négatifs des aménagements sont primordiales. Cela va de pair avec les réflexions menées à l'échelle des quartiers sur la performance de consommation du bâti et les stratégies énergétiques à mettre en oeuvre (production intégrée d'énergies renouvelables), de manière à faire le lien entre climat, confort d'été et d'hiver, et limitation des gaz à effets de serre.
Dans le cadre des fonds du programme des Investissements d'avenir dédiés à la démarche EcoCités, les actions liées à la réduction de l'impact des îlots de chaleur au sein des opérations de construction pourront faire l'objet de demande de cofinancement. Les dossiers ont été remis par les collectivités le 15 mars 2011.
Pilote : DGALN/DHUP
Outil : Recensement des pratiques concourant à l'adaptation au changement climatique dans le projets EcoQuartiers et EcoCités
Calendrier : 2012
Indicateurs de suivi : diffusion du retour d'expérience et des bonnes pratiques

Mesure 3.2 : Intégrer un diagnostic de vulnérabilité au changement climatique parmi les critères retenus pour l'obtention du label EcoQuartier 2012
Pilote : DGALN/DHUP
Calendrier : 2012
Indicateurs de suivi : établissement des critères
Indicateurs de résultats : Délivrance du label **»**

2. Plan Régional pour le Climat d'Île-de-France – Chantier 6

Chantier 6 : Lutter contre les ilots de chaleur urbains

Chantier 6	Lutter contre les ilots de chaleur urbains
>> - Identifier les ilots de chaleur urbains (ICU) actuels et futurs sur l'ensemble des territoires franciliens ; - Envisager des mesures de lutte contre les ICU dans le but de réduire la vulnérabilité des territoires les plus concernés.	
Enjeux	L'effet d'îlot de chaleur urbain est un phénomène assez ancien et connu dans son principe. Le jour les zones bâties accumulent de la chaleur qui est restituée la nuit diminuant ainsi l'écart de température jour-nuit. Cet écart de température a des effets directs en termes sanitaires mais également sur le plan météorologique ainsi que sur les milieux. Dans un contexte d'évolution climatique vers des périodes estivales, plus chaudes, plus sèches et plus longues du type canicule de 2003, l'augmentation de la fréquence et de l'ampleur de ce phénomène en fait un des enjeux principaux de l'adaptation au changement climatique en Ile-de-France. La densification urbaine étant au cœur de la stratégie d'atténuation, la prise en compte du phénomène en amont permettra de concilier ces deux impératifs.
Actions engagées	Etude de l'IAU sur les îlots de chaleur urbains. Etablissement d'une cartographie de l'indice de végétation en Ile-de-France
Présentation de l'action	
Objectifs	Approfondir la connaissance autour de l'effet d'îlot de chaleur urbain pour mieux le prévenir. L'objectif est de produire des recommandations permettant de concilier densification et prévention dans les documents stratégiques et des spécifications techniques pour l'aménagement et la construction, et la stimulation de l'innovation pour prévenir ou diminuer ce phénomène.
Acteurs concernés	Collectivités, aménageurs, constructeurs
Description	• Rassembler et synthétiser l'information disponible sur le risque d'ilots de chaleur urbain (ICU), en Région Ile-de-France comme ailleurs, et les moyens de l'atténuer. Les deux rapports que l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme d'Île-de-France a réalisés sur les ilots de chaleur urbains (Janvier 2011) feront l'objet d'une attention particulière. • Poursuivre les travaux de météorologie urbaine à l'échelle régionale ou locale, à l'instar de ceux menés actuellement par Météo-France (le « Grand Paris », impact du Changement Climatique sur Paris EPICEA, etc.) • Continuer les travaux/études réalisés dans le cadre du programme C-Change sur le phénomène des ICU par rapport au changement climatique (un document sera produit pour mettre en évidence l'intérêt majeur des espaces verts pour lutter contre les ICU) ; le programme proposera un certain nombre de recommandations en la matière issues des travaux des groupes d'experts transnationaux. • Tenir compte du rôle des espaces verts en termes de rafraichissement dans les documents et projets d'aménagement dans le but de renforcer la présence d'espaces verts en tissu urbain. Réaffirmer l'objectif de surface d'espace vert par habitant supérieure à 10m². Intégrer cet élément dans les documents d'urbanisme et sensibiliser les collectivités au caractère d'équipement public aux usages multiples des espaces verts. De même, la gestion de l'eau doit concourir à cet objectif de lutte contre les ilots de chaleur urbains.
Calendrier	
	Etude lancée à l'automne 2011

3. **SRCAE** (Projet)

Vulnérabilités du territoire régional

Pour l'Île-de-France, les principaux enjeux significatifs identifiés à ce jour sont :

- **l'effet d'îlot de chaleur urbain et ses effets associés sur la dégradation de la qualité de l'air**

Cet enjeu revêt une importance particulière en région Île-de-France compte-tenu de la forte densité urbaine en cœur d'agglomération. La canicule de 2003 a conduit à une surmortalité importante. La différence de température entre cœur d'agglomération et espace rural a été majeure avec une température nocturne au centre supérieure à 25 °C. Des travaux ont été réalisés par l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme et l'Agence des Espaces Verts d'Ile-de-France sur le rôle des espaces ouverts dans la lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain. Cette problématique est également au cœur du programme C-Change auquel participe la Région. Lutter contre les effets de l'îlot de chaleur suppose des actions sur le cadre bâti et notamment le confort d'été, sur l'aménagement des villes et la planification, sur les espaces ouverts, la nature en ville et la gestion de l'eau.

ORIENTATION ACC 1.2
PRENDRE EN COMPTE LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS L'AMÉNAGEMENT URBAIN

L'aménagement et la planification urbaine recèlent de grandes marges de manœuvre tant en matière d'adaptation que d'atténuation. Ces deux objectifs doivent être considérés de concert dans les projets d'aménagement, ceci afin de limiter les risques d'aboutir à des principes d'aménagement parfois contradictoires. En effet, d'un côté, la recherche de l'optimisation des consommations énergétiques et de la réduction des distances plaident en faveur d'une ville dense et compacte. De l'autre côté, une approche urbanistique plus aérée et ventilée, intégrant des espaces ouverts où l'eau est présente, permet de répondre au double enjeu de l''atténuation et de l'adaptation.

Le changement climatique augmentera l'occurrence des évènements climatiques extrêmes et entraîne ainsi une hausse des risques de sécheresse[206], de retrait-gonflement d'argile[207] et d'incendie. Dès lors, il apparaît essentiel d'opter pour une approche multirisques, pluridisciplinaire et multicritères des décisions d'urbanisme.

Un enjeu de résistance aux phénomènes climatiques concerne également les infrastructures d'approvisionnement et de transport. Les risques d'évènements météorologiques extrêmes doivent être pris en compte pour garantir la continuité des services essentiels et des services publics.

Par ailleurs, les périodes caniculaires conditionnent l'apparition d'îlots de chaleur en milieu urbain et ont des répercutions négatives sur la qualité de l'air. Du fait de la forte densité urbaine en cœur d'agglomération, la région est particulièrement concernée par cette problématique. La canicule de 2003 avait conduit à une surmortalité importante en Ile-de-France. Lors de cet été, la température nocturne dans le centre était supérieure à 25°C. Les différentiels de température entre le centre de l'agglomération et les zone rurale ont pu dépasser les 7°C.

Il est possible d'agir pour remédier à ce genre de situation :

- Par des actions sur le cadre bâti en favorisant le développement du confort d'été et les réseaux de froid ;
- Par un aménagement des villes et une planification en conséquence ;
- Par des espaces ouverts et une végétalisation contrôlée en ville (hors flore allergène).

- Par une meilleure prise en compte des circulations d'air dans les systèmes urbains
- Par une gestion stratégique des cycles de l'eau et des sols

Recommandations pour l'organisation régionale

➢ ***Acteurs clés : Conseil régional, AESN, DRIEE, DRIEA, DDT, CR, IAU, AEV, Ekopolis***

Le projet de SDRIF[208] identifie les différents principes d'aménagement pour permettre la réduction des risques qui pourraient toucher la région et aborde la question des îlots de chaleur. Afin de concilier les impératifs en matière d'atténuation et d'adaptation, il préconise une ville compacte, économe en ressources, et qui intègre des espaces ouverts en milieu urbain : espaces naturels, continuités biologiques, parcs, squares, jardins publics, etc. Il conforte la nécessité d'une trame verte d'agglomération via la diminution des carences en espaces verts

[206] Les résultats du projet RexHyss (projet de recherche sur l'impact du changement climatique sur les ressources en eau et les extrêmes hydrologiques dans les bassins de la Seine et de la Somme) anticipent une diminution conséquente des débits de la Seine, jusqu'à –30% à l'étiage, ainsi qu'une diminution de la recharge des nappes (cf. fascicule de présentation de ces résultats : http://www.sisyphe.upmc.fr/piren/book/1331.

[207] Le site internet www.argiles.fr présente le phénomène et propose des cartes d'aléa retrait-gonflement par département et par commune au fur et à mesure de leur parution.

[208] Document actuellement en cours de révision.

publics. Il prévoit à cet effet la réservation d'emprises foncières dans les zones carencées en espaces verts du cœur de l'agglomération, notamment lors d'opérations de renouvellement urbain et grâce à la valorisation d'espaces verts existants.

L'Etat, la Région et ses organismes associés apportent, par leurs travaux et leurs missions des éléments pour une meilleure prise en compte de l'adaptation dans les aménagements :

- Les actions menées par l'Etat dans le cadre de sa stratégie de prévention des risques naturels en Ile-de-France sont multiples et associent de nombreux acteurs. Les plans de prévention des risques naturels (tant pour l'inondation que les argiles) restreignent notamment la constructibilité des zones exposées et prescrivent certaines mesures constructives. L'Etat cofinance par ailleurs des actions de réduction de la vulnérabilité et de protection contre les inondations dans le cadre des Programme d'Action de Prévention des Inondations (PAPI) (construction d'ouvrages d'écrêtement des crues, diagnostics de vulnérabilité du bâti existant et des activités,…). Par ailleurs, renouveler l'urbanisme en zone inondable nécessite bien souvent de recourir à des modélisations hydrauliques complexes à partir des données du service de prévision des crues de la DRIEE.

- Le Conseil régional, dans le cadre de sa politique régionale de l'eau développée en partenariat avec l'Agence de l'eau Seine Normandie et la plupart des Conseils généraux, accompagne les collectivités pour la mise en place de « mesures sans regrets » d'adaptation au changement climatique pour la gestion de l'eau dans la ville. Il soutient ainsi la réouverture des rivières urbaines (climatisation de la vile), la réduction du ruissellement urbain par rétention de l'eau pluviale sur les parcelles d'écoulement et par l'utilisation d'espaces multifonctionnels (espaces naturels, terrain de sport ou loisirs, modelés de terrain, toitures végétalisées etc.) et des dispositifs paysagers de maîtrise à la source des ruissellements d'eaux pluviales.

- L'Etat et la Région élaborent conjointement des outils pour la mise en œuvre du Schéma Régional de Cohérence Ecologique et en particulier en zone dense qui renforcent ces orientations vers des espaces urbains multifonctionnels support de cadre de vie et de biodiversité. Ces outils dont la mise en œuvre relève des acteurs locaux sont subventionnés par le Conseil Régional.

- L'Agence régionale des espaces verts (AEV) soutient les collectivités territoriales dans leur politique d'acquisition et d'aménagement d'espaces ouverts en leur proposant des subventions.

- L'Institut de l'aménagement de l'urbanisme (IAU Île-de-France) développe la connaissance sur ces sujets et publie des études disponibles[209] pour les décideurs et les acteurs locaux. Signalons la publication « Les îlots de chaleur – Répertoire de fiches connaissance » qui propose des fiches détaillant des solutions architecturales (bioclimatisme, matériaux) et d'aménagement (eau, végétal,

formes urbaines et urbanisme) pour maîtriser les îlots de chaleur.

- L'Agence régionale des espaces verts (AEV) soutient les collectivités territoriales dans leur politique d'acquisition et d'aménagement d'espaces ouverts en leur proposant des subventions. Les collectivités peuvent ainsi financer une partie de leurs projets.

Par ailleurs, Ekopolis[210], pôle de ressources en Ile-de-France pour l'aménagement et la construction durables, intègre les enjeux de l'adaptation au changement climatique dans ses réflexions et constitue ainsi une source d'informations pertinente pour les acteurs franciliens.

Outre l'implication de ces différents organismes, les services de l'Etat, dans leur porter à connaissance, ont vocation à diffuser une information spécifique pour l'intégration de règles d'urbanisme en faveur de l'adaptation du territoire au sein des différents documents d'urbanisme et de planification de transports. Les problématiques liées au développement des réseaux de froid y seront incorporées.

Actions recommandées aux collectivités territoriales

- ***Décliner les mesures régionales en matière d'aménagement urbain dans le volet Adaptation des PCET***

Les mesures prises en faveur de l'adaptation demandent une vision sur le moyen, le long et même sur le très long terme. Les bâtiments et les villes construits ou transformés aujourd'hui seront encore en usage dans cinquante ou cent ans, dans un contexte climatique qui aura sensiblement évolué. Les documents d'urbanisme et de planification du territoire permettent aux collectivités de prévoir leurs aménagements avec une vision large et prospective des enjeux de leurs territoires. Ils offrent un cadre efficace pour développer des solutions d'adaptation afin d'anticiper les évolutions du climat et à leurs conséquences concrètes pour le territoire. Les collectivités pourront s'appuyer sur les organismes cités dans le paragraphe précédent afin de trouver des conseils et un accompagnement dans la prise en compte des effets du changement climatique dans leurs documents d'urbanisme.

Déjà mentionnés précédemment, les Plans Climat-Energie Territoriaux sont les documents ensembliers d'actions d'atténuation et d'adaptation à une échelle locale pour lutter contre le changement climatique. A ce titre, ils constituent le cadre idéal pour impulser une stratégie d'adaptation en cohérence avec les aménagements locaux urbains existants et futurs.

En outre, les collectivités concernées doivent identifier et prendre des mesures de lutte contre les Ilots de Chaleur urbains (ICU) (voir le chantier n°6 du Plan régional pour le climat).